

## 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 이용한 소형 Chipless RFID 태그 설계 및 제작

# Design and Fabrication of Miniaturized Chipless RFID Tag Using Modified Bent H-shaped Slot

여준호<sup>1\*</sup> · 이종익<sup>2</sup>

<sup>1</sup>대구대학교 AI학부

<sup>2</sup>동서대학교 전자공학과

Junho Yeo<sup>1\*</sup> · Jong-Ig Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Artificial Intelligence, Daegu University, Gyeongsangbuk-do, 38453, Korea

<sup>2</sup>Department of Electronics Engineering, Dongseo University, Busan, 47011, Korea

### [요약]

본 논문에서는 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 이용한 소형 chipless RFID (radio frequency identification) 태그 설계 방법을 제안하였다. 제안된 변형된 구부러진 H-모양 슬롯은 두께 0.8 mm의 20 mm×50 mm 크기의 FR4 기판의 한쪽에 있는 직사각형 도체 평판에 추가하였다. 기존의 H-모양 슬롯, U-모양 슬롯, 구부러진 H-모양 슬롯을 각각 추가하였을 때와 bistatic 레이더 단면적(RCS; radar cross section)의 공진 딥(dip) 주파수를 비교하였다. H-모양 슬롯, U-모양 슬롯, 구부러진 H-모양 슬롯을 추가하였을 때 시뮬레이션 공진 딥 주파수는 각각 5.907 GHz, 4.918 GHz, 4.364 GHz이었다. 제안된 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 추가하였을 때 공진 딥 주파수는 3.741 GHz로 감소하였고 H-모양 슬롯과 비교하여 슬롯 길이를 36.7% 소형화할 수 있다. 실험 결과, 제작된 변형된 구부러진 H-모양 슬롯이 추가된 chipless RFID 태그의 공진 딥 주파수는 3.9 GHz로 나타났다.

### [Abstract]

In this paper, the design method of a miniaturized chipless RFID tag using a modified bent H-shaped slot was proposed. The proposed modified bent H-shaped slot was appended on the rectangular conductor plate printed on one side of a 20 mm × 50 mm FR4 substrate with a thickness of 0.8 mm. The resonant dip frequency of the bistatic RCS for the proposed modified bent H-shaped slot was compared with the cases when the H-shaped, U-shaped slot, and bent H-shaped slots were added, respectively, on the conductor plate. The simulated resonant dip frequencies for H-shaped, U-shaped, and bent H-shaped slots were 5.907 GHz, 4.918 GHz, and 4.364 GHz, respectively. When the proposed modified bent H-shaped slot was added, the resonant dip frequency was decreased to 3.741 GHz, and, therefore, the slot length was reduced by 36.7% compared to the H-shaped slot case. Experiment results show that the resonant dip frequency of the fabricated modified bent H-shaped slot was 3.9 GHz.

**Key word** : Chipless RFID tag, Miniaturization, Modified bent H-shaped slot, Radar cross section, Resonant dip frequency.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.6.815>



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 23 November 2023; Revised 5 December 2023  
Accepted (Publication) 18 December 2023 (29 December 2023)

\*Corresponding Author; Junho Yeo

Tel : +82-53-850-6642

E-mail : [jyeo@daegu.ac.kr](mailto:jyeo@daegu.ac.kr)

## 1. 서론

자기장이나 전자파를 이용한 차세대 자동인식 기술인 RFID (radio frequency identification) 기술은 다양한 주파수 대역을 이용하여 물품(자산)관리, 출입관리, 음식물 쓰레기 관리, 전자여권, 교통카드, 고속도로 하이패스, 의류 및 도서 도난방지, 의약품 관리 등의 실생활에서 널리 사용되고 있다[1].

반도체 칩(chip)을 이용한 태그의 가격을 저가화하기 위해 개발된 chipless RFID 태그는 여러 방식 중에서 마이크로파 공진기(microwave resonator)를 이용한 방식이 활발히 연구되고 있다[2]. 마이크로파 공진기를 이용한 방식은 전자파 신호를 사용하는 영역에 따라 시간 영역, 주파수 영역, 혼합 방식으로 나눌 수 있다[3]. 주파수 영역 방식은 송수신 안테나를 사용하는 재전송(retransmission) 방식과 공진기만 사용하는 후방 산란(back scattering) 방식으로 나눌 수 있다. 후방 산란 방식은 공진기를 만드는 방법에 따라 도체(conductor) 공진기 방식과 슬롯(slot) 공진기 방식으로 나눌 수 있다[4].

도체 공진기 방식은 유전체 기판 위에 폭이 얇은 도체를 이용하여 만들며, 직선 도체, C-모양 도체, 원형 혹은 직사각형 모양 분할 링 공진기(split ring resonator) 도체, S-모양 도체, 힐버트 프랙탈(Hilbert fractal) 도체, 스파이럴(spiral) 도체, 전계-결합 유도-용량성 (ELC; electric field-coupled inductive-capacitive) 도체, 인터디지털-커패시터(IDC; interdigital-capacitor) 도체 등이 사용되었다[5], [6].

슬롯 공진기 방식은 유전체 기판 위의 폭과 길이가 큰 도체 평판 위에 폭이 얇은 슬롯을 추가하여 만든다. 폭이 0.2 mm이고 간격이 0.3 mm인 직선 슬롯을 직사각형 도체 평판에 수직과 수평으로 루프 모양으로 배치하여 4.5-14 GHz 대역에서 동작하는 이중 편파 16 비트 태그가 제안되었다[4]. 폭이 0.2 mm이고 간격이 0.3 mm인 U-모양 슬롯 4개가 추가된 직사각형 도체 평판을 수직 수평 방향으로 2개씩 배치하여 6-13 GHz 대역에서 동작하는 소형 이중 편파 8 비트 태그가 소개되었다[7]. 원형 도체 평판에 폭이 0.2 mm이고 간격이 0.2 mm인 원형 링 슬롯을 추가한 8 비트 태그가 6-13 GHz 대역에서 설계되었다[8]. 원형 링 슬롯 대신에 폭이 0.2 mm이고 간격이 0.4 mm인 이산화된(discretized) 링 슬롯을 이용하여 소형화한 8 비트 태그가 6-14 GHz 대역에서 제안되었다[9]. 삼각형 도체 평판에 폭이 0.15 mm이고 간격이 0.15 mm인 삼각형 링 슬롯을 추가한 18 비트 태그가 3-10 GHz 대역에서 소개되었다[10]. 정사각형 도체 평판에 폭이 0.23 mm이고 간격이 0.23 mm인 45도 기울어진 두 개의 타원을 조합하여 만든 나비-모양 링 슬롯을 추가한 10 비트 태그가 5-10 GHz 대역에서 설계되었다[11]. 직각형 도체 평판에 폭이 0.4 mm이고 간격이 0.35 mm인 타원형 링 슬롯을 추가한 10 비트 태그가 3-16 GHz 대역에서 제안되었다[12]. 직각형 도체 평판에 폭이 0.25 mm이고 간격이 0.35 mm인 타원형 링을 절반으로 자른 슬롯 혹은 타원형 C-모양 슬롯을 추가한 13 비트 태그가 3-9 GHz 대역에서 소개되었다[13]. 정

사각형 도체 평판에 폭이 0.5 mm이고 간격이 0.5 mm인 직사각형 슬롯을 추가한 12 비트 태그가 2-9 GHz 대역에서 설계되었다[14]. 직각형 도체 평판에 폭이 0.2 mm이고 간격이 0.3 mm인 M-모양을 뒤집은 슬롯을 추가한 20 비트 태그가 3-8 GHz 대역에서 제안되었다[15].

본 논문에서는 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 이용한 소형 chipless RFID 태그 설계 방법을 제안하였다. 두께 0.8 mm의 20 mm×50 mm 크기의 FR4 기판의 한쪽에 있는 직사각형 도체 평판 위에 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 추가할 때 bistatic 레이다 단면적(RCS; radar cross section)의 공진 딥(dip) 주파수를 기존의 H-모양 슬롯, U-모양 슬롯, 구부러진 H-모양 슬롯을 각각 추가하였을 때와 비교하였다. 제안된 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 이용한 소형 chipless RFID 태그의 RCS 특성 분석을 위해 상용 전자파 해석 소프트웨어인 CST사의 Studio Suite를 이용하여 시뮬레이션하였다. 제안된 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 이용한 소형 chipless RFID 태그는 FR4 기판에 제작하여 bistatic RCS 특성을 측정하여 확인하였다.

## II. 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 이용한 소형 chipless RFID 태그 구조 및 설계

그림 1은 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 이용한 chipless RFID 태그의 구조이다. 기판의 윗면에 있는 직사각형 도체 평판의 중심에 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 추가하였다. Chipless RFID 설계를 위해 비유전율 4.4, 손실탄젠트 0.025이고 두께가  $h = 1.6$  mm인 FR4 기판을 사용하였다. 표 1에는 최종 설계된 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 이용한 chipless RFID 태그의 변수가 나타나 있다.

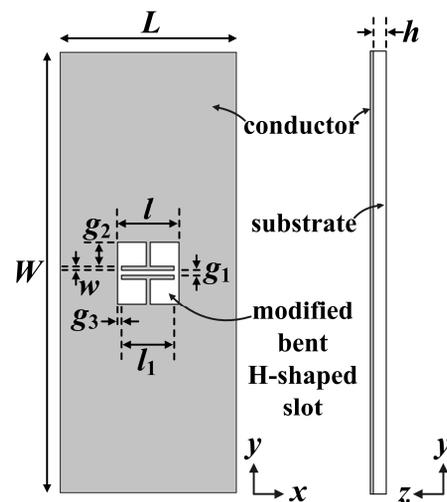


그림 1. 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 이용한 chipless RFID 태그 구조

Fig. 1. Geometry of chipless RFID tag using modified bent H-shaped slot

표 1. 제안된 chipless RFID 태그의 최종 설계변수

Table 1. Final design parameters of the proposed chipless RFID tag

Parameter	Value(mm)	Parameter	Value(mm)
$L$	20	$g_1$	0.5
$W$	50	$g_2$	2.75
$l$	7	$g_3$	0.5
$h_1$	6	$w$	0.5

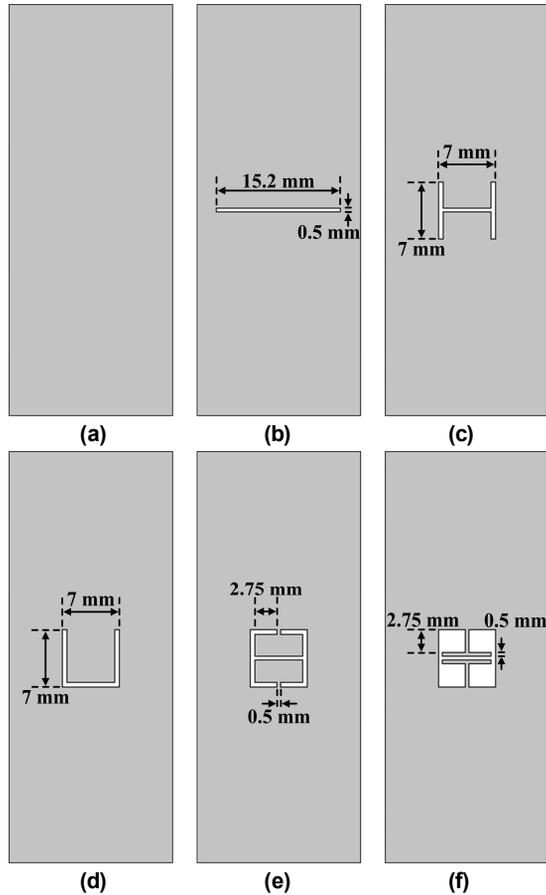


그림 2. 설계 과정에서 비교한 태그 구조: (a) 직사각형 도체 평판만 있는 태그, (b) 수평 방향 직선 슬롯이 추가된 태그, (c) H-모양 슬롯이 추가된 태그, (d) U-모양 슬롯이 추가된 태그, (e) 구부러진 H-모양 슬롯이 추가된 태그, (f) 변형된 구부러진 H-모양 슬롯이 추가된 태그

Fig. 2. Tag geometries compared in design procedure: (a) tag with rectangular conductor plate only, (b) tag added with horizontal straight slot, (c) tag added with H-shaped slot, (d) tag added with U-shaped slot, (e) tag added with bent H-shaped slot, and (f) tag added with modified bent H-shaped slot

제안된 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 이용한 chipless RFID 태그의 설계 과정에서 특성 비교를 위해 사용된 구조들이 그림 2에 나타나 있다. 그림 2(a)는 FR4 기판 위에 직사각형 도체 평판만 있는 태그 구조이고, 그림 2(b)는 수평 방향 직선 슬롯이 추가된 태그 구조이다. 그림 2(c)는 H-모양 슬롯이 추

가된 태그 구조이고, 그림 2(d)는 U-모양 슬롯이 추가된 태그 구조이다. 그림 2(e)는 구부러진 H-모양 슬롯이 추가된 태그 구조이고, 그림 2(f)는 변형된 구부러진 H-모양 슬롯이 추가된 태그 구조이다. 그림 2(b)의 직선 슬롯의 길이는 H-모양 슬롯이 추가된 태그와 공진 딥 주파수를 동일하게 하기 위해 조절하여 15.2 mm이고, 나머지 슬롯들의 수평 혹은 수직방향 길이는 7 mm이다. 슬롯의 폭은 변형된 구부러진 H-모양 슬롯의 변형된 부분을 제외하고 모두 0.5 mm로 동일하게 설계하였다.

그림 3은 그림 2의 6가지 태그 구조의 bistatic RCS 특성 시뮬레이션 결과를 비교하였다. Bistatic RCS 송신측 입사 각도는 z축을 기준으로  $zx$ -평면에서의 각도로서 실험에서 사용된  $30^\circ$ 를 적용하였고 수신 각도도 동일하며, RCS의 단위는 dBsm (decibel per square meter)이다[6]. 그림 2(a)와 같이 직사각형 도체 평판만 있는 경우, 2.367 GHz에 첫 번째 공진 피크 주파수가 발생하고 RCS 값은 -18.81 dBsm이다. 첫 번째 공진 피크 주파수 이후 RCS 값은 감소하다가 6.5 GHz 이후 다시 증가한다. 길이 15.2 mm, 폭 0.5 mm의 직선 슬롯을 직사각형 도체 평면의 중심에 그림 2(b)와 같이 추가한 경우, 직사각형 도체 평판만 있을 때의 RCS 특성에 5.907 GHz에서 공진 딥 주파수가 추가되어 나타난다. 이 때, RCS 값은 -29.24 dBsm이다. 따라서 직사각형 도체 평면의 중심에 폭이 얇은 슬롯을 추가하면 공진 딥 주파수가 추가된 RCS 특성이 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 2(c)와 같이 H-모양 슬롯을 추가한 경우, 공진 딥 주파수는 직선 슬롯을 추가할 때와 동일한 5.907 GHz이고 RCS 값은 -27.49 dBsm이다. 직선 슬롯을 추가할 때와 비교하면 공진 딥 주파수에서 RCS 값이 1.75 dB 커지지만 수평방향 슬롯의 길이를 7 mm로 줄일 수 있다. 그림 2(d)와 같이 슬롯의 모양을 U-모양으로 변형할 경우, 공진 딥 주파수는 4.918 GHz로 0.989 GHz 만큼 낮은 주파수로 이동하고 RCS 값은 -27.06 dBsm이다. 그림 2(e)와 같이 H-모양 슬롯의 네 군데 끝부분에 슬롯을 추가하여 구부러진 경우, 공진 딥 주파수는 4.364 GHz로 H-모양 슬롯을 추가한 경우와 비교할 때 1.543 GHz 만큼 낮은 주파수로 이동하고 RCS 값이 -27.0 dBsm이다.

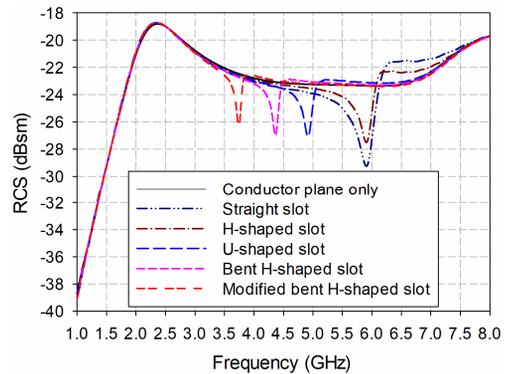


그림 3. 그림 2의 태그 구조들에 대한 bistatic RCS 특성 시뮬레이션 결과 비교

Fig. 3. Comparison of simulated bistatic RCS characteristics for the geometries in Fig. 2

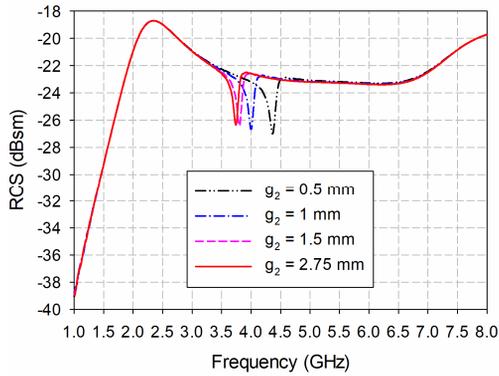


그림 4.  $g_2$  변화에 대한 변형된 구부러진 H-모양 슬롯이 추가된 태그의 bistatic RCS 특성 결과 비교

Fig. 4. Comparison of bistatic RCS characteristics for the chipless RFID tag using modified bent H-shaped slot for varying  $g_2$

그림 2(f)와 같이 구부러진 H-모양 슬롯의 구부러진 슬롯의 폭을 0.5 mm에서 2.75 mm로 증가시켜 변형할 경우, 공진 dips 주파수는 3.741 GHz로 H-모양 슬롯을 추가한 경우와 비교할 때 2.166 GHz 만큼 낮은 주파수로 이동하고 RCS 값이 -26.31 dBsm이다. 따라서 H-모양 슬롯을 추가한 경우와 비교할 때 슬롯 길이를 약 36.7% 줄여 소형화할 수 있다.

변형된 구부러진 H-모양 슬롯이 추가된 chipless RFID 태그의 구부러진 슬롯의 폭인  $g_2$ 의 변화에 따른 공진 dips 주파수와 RCS 값의 영향을 자세히 알아보기 위해  $g_2$ 가 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm, 2.75 mm로 증가할 때 태그의 bistatic RCS 특성을 그림 4에 비교하였다. 앞에서 설명한 바와 같이,  $g_2$ 가 0.5 mm일 때, 공진 dips 주파수는 4.364 GHz로 H-모양 슬롯을 추가한 경우와 비교할 때 1.543 GHz 만큼 낮은 주파수로 이동하고 RCS 값이 -27.0 dBsm이다.  $g_2$ 가 1 mm로 증가하면, 공진 dips 주파수는 4.0 GHz로 H-모양 슬롯을 추가한 경우와 비교할 때 1.907 GHz 만큼 낮은 주파수로 이동하고 RCS 값이 -26.66 dBsm이다.  $g_2$ 가 1.5 mm로 증가하면, 공진 dips 주파수는 3.801 GHz로 H-모양 슬롯을 추가한 경우와 비교할 때 2.106 GHz 만큼 낮은 주파수로 이동하고 RCS 값이 -26.42 dBsm이다.  $g_2$ 가 2.75 mm로 증가하면, 공진 dips 주파수는 3.741 GHz로 H-모양 슬롯을 추가한 경우와 비교할 때 2.166 GHz 만큼 낮은 주파수로 이동하고 RCS 값이 -26.31 dBsm이다. 따라서 구부러진 슬롯의 폭인  $g_2$ 가 증가할수록 공진 dips 주파수는 낮은 주파수로 이동하고 RCS 값은 조금씩 증가함을 알 수 있다.

그림 2의 6가지 태그 구조 중에서 직선 슬롯이 추가된 태그, H-모양 슬롯이 추가된 태그, U-모양 슬롯이 추가된 태그, 구부러진 H-모양 슬롯이 추가된 태그, 변형된 구부러진 H-모양 슬롯이 추가된 태그의 각 공진 dips 주파수에서의 전계 분포가 그림 5에 나타나 있다. 슬롯의 중심에서 전계가 집중되는 것을 확인할 수 있다.

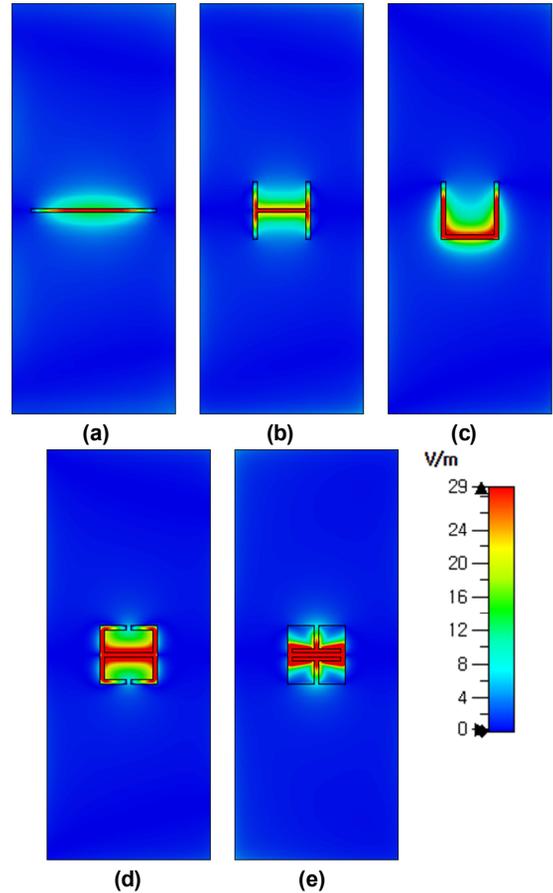


그림 5. RCS 공진 dips 주파수에서의 전계 분포: (a) 수평 방향 직선 슬롯이 추가된 태그(5.907 GHz), (b) H-모양 슬롯이 추가된 태그(5.907 GHz), (c) U-모양 슬롯이 추가된 태그(4.918 GHz), (d) 구부러진 H-모양 슬롯이 추가된 태그(4.364 GHz), (e) 변형된 구부러진 H-모양 슬롯이 추가된 태그(3.741 GHz)

Fig. 5. Electric field distributions at RCS resonant dip frequencies: (a) tag added with horizontal straight slot(5.907 GHz), (b) tag added with H-shaped slot(5.907 GHz), (c) tag added with U-shaped slot(4.918 GHz), (d) tag added with bent H-shaped slot(4.364 GHz), and (e) tag added with modified bent H-shaped slot(3.741 GHz)

### III. 태그 제작 및 실험 결과

그림 6은 FR4 기판( $\epsilon_r = 4.4$ ,  $h = 0.8$  mm,  $\tan \delta = 0.025$ )에 제작된 제안된 변형된 구부러진 H-모양 슬롯이 추가된 chipless RFID 태그의 사진이다.

전파 무반사실 내에 광대역 송수신 안테나를 이용하여 bistatic RCS 측정 환경을 구성하였고 그림 7에 나타나 있다. Agilent사의 N5230A 벡터 네트워크 분석기를 사용하여 bistatic RCS 계산을 위해 필요한 송수신 안테나의 전달계수( $S_{21}$ )를 측정하였다.

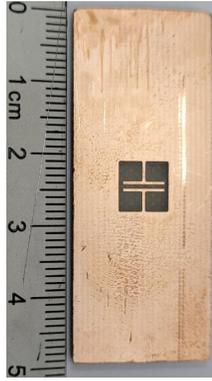


그림 6. 제작된 chipless RFID 태그 사진  
 Fig. 6. Photograph of fabricated chipless RFID tag

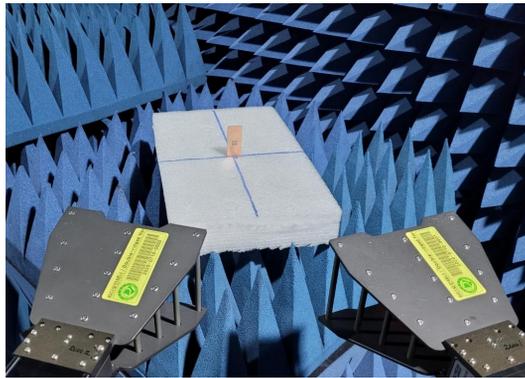


그림 7. 측정 환경 사진  
 Fig. 7. Photograph of measurement setup

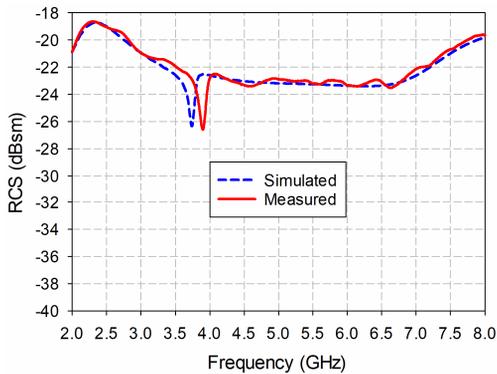


그림 8. 측정된 bistatic RCS 특성 비교  
 Fig. 8. Comparison of measured bistatic RCS characteristic

광대역 송수신 안테나는 C&G Microwave사의 double-ridged horn 안테나를 사용하였으며, 주요 안테나 특성은 2-18 GHz 대역에서 전압정재파비가 2 이하이고 6-17 dBi의 이득을 가진다. 송수신 안테나와 제안된 태그 사이의 거리는 300 mm 정도이고 송수신안테나는 태그 표면의 수직인 방향과 30° 정도의 입사 각도를 가지도록 설치하였다.

측정한 송수신 안테나의 전달계수와 아래 식 (1)을 사용하여 bistatic RCS 값을 계산하였다[6].

$$\sigma_{tag} = \left[ \frac{S_{21,tag} - S_{21,air}}{S_{21,ref} - S_{21,air}} \right]^2 \sigma_{ref} \quad (1)$$

여기서 피 측정 물체의 측정된 RCS 값( $\sigma_{tag}$ )은 기준으로 사용될 물체의 RCS 값( $\sigma_{ref}$ ), 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 슬롯이 없는 직사각형 도체 평판을 사용하였다.

그림 8은 제안된 변형된 구부러진 H-모양 슬롯이 추가된 chipless RFID 태그에 대한 측정된 bistatic RCS 특성을 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 측정된 bistatic RCS의 공진 dips 주파수는 3.9 GHz로 시뮬레이션과 비교할 때 0.159 GHz 만큼 높은 주파수로 이동하였고, RCS 값은 -26.58 dBsm로 0.27 dB 감소하였다. 측정 결과가 시뮬레이션 결과와 다른 이유는 태그 제작 상의 오차와 측정 환경 등으로 판단된다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 이용한 소형 chipless RFID 태그 설계 방법을 연구하였다. 직사각형 도체 평판 위에 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 추가할 때 bistatic RCS의 공진 dips 주파수를 기존의 H-모양 슬롯, U-모양 슬롯, 구부러진 H-모양 슬롯을 추가하였을 때와 비교하였다. 구부러진 슬롯의 폭의 변화에 따른 공진 dips 주파수의 이동도 비교하였다.

제안된 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 이용한 소형 chipless RFID 태그를 두께 0.8 mm의 20 mm×50 mm 크기의 FR4 기판에 제작하였다. 측정 결과, bistatic RCS의 공진 dips 주파수는 3.9 GHz로 시뮬레이션과 비교할 때 0.159 GHz 만큼 높은 주파수로 이동하여 4.3%의 오차를 보였다. 제작 상의 오차와 측정 환경으로 오차가 발생한 것으로 판단된다.

제안된 변형된 구부러진 H-모양 슬롯을 이용한 태그 설계 방법은 고밀도 소형 chipless RFID 태그나 고분자 물질을 코팅하여 습도나 온도를 센싱하는 고감도 chipless RFID 센서 태그 등에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

#### References

[1] WHERE DO YOU FIND RFID TECHNOLOGY IN EVERYDAY LIFE? [Internet], Available; <https://www.trace-id.com/where-do-you-find-rfid-technology-in-everyday-life/>

- [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] 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.
- [4] M. A. Islam and N. Karmakar, "Compact printable chipless RFID tags using polarization diversity," in *Proceeding of 2012 9th European Radar Conference*, Netherlands: Amsterdam, pp. 586-589, 2012.
- [5] A. Vena, E. Perret, and S. Tednini, *Chipless RFID based on RF encoding particle: realization, coding and reading system*, London, UK: ISTE Press Ltd., pp. 114-116, 2016.
- [6] J. Yeo, J. I. Lee, and Y. Kwon, "Humidity-sensing chipless RFID tag with enhanced sensitivity using an interdigital capacitor structure," *Sensors*, Vol. 21, p. 6550, 2021.
- [7] M. A. Islam and N. C. Karmakar, "A novel compact printable dual-polarized chipless RFID system," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 60, No. 7, pp. 2142-2151, Jul. 2012.
- [8] M. A. Islam, Y. Yap, N. C. Karmakar, and A. Azad, "Compact printable orientation independent chipless RFID tag," *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 33, pp. 55-66, 2012.
- [9] M. Martinez and D. van der Weide, "Compact slot-based chipless RFID tag," in *Proceeding of 2014 IEEE RFID Technology and Applications Conference (RFID-TA)*, Finland: Tampere, pp. 233-236, 2014.
- [10] M. A. Islam, Y. Yap, and N. Karmakar, "' $\Delta$ ' slotted compact printable orientation insensitive chipless RFID tag for long range applications," in *Proceeding of 2016 9th International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE)*, Bangladesh: Dhaka, pp. 283-286, 2016.
- [11] M. A. Riaz, Y. Abdullah, H. Shahid, Y. Amin, A. Akram, and H. Tenhunen, "Novel butterfly slot based chipless RFID tag," *Radioengineering*, Vol. 27, No. 3, pp. 776-783, Sep. 2018.
- [12] I. Jabeen, A. Ejaz, A. Akram, Y. Amin, J. Loo, and H. Tenhunen, "Elliptical slot based polarization insensitive compact and flexible chipless RFID tag," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, Vol. 29, No. 11, p. e21734, Nov. 2019.
- [13] I. Jabeen, A. Ejaz, A. Akram, Y. Amin, and H. Tenhunen, "Miniaturized slot based chipless RFID tag for IoT applications," in *Proceeding of 2019 International Symposium on Recent Advances in Electrical Engineering (RAEE)*, Pakistan: Islamabad, pp. 1-4, 2019.
- [14] Z. Ma, and Y. Jiang, "High-density 3D printable chipless RFID tag with structure of passive slot rings," *Sensors*, Vol. 19, p. 2535, 2019.
- [15] W. M. Abdulkawi, A.-F. A. Sheta, K. Issa, and S. A. Alshebeili, "Compact printable inverted-M shaped chipless RFID tag using dual-polarized excitation," *Electronics*, Vol. 8, p. 580, 2019.



**여 준 호 (Junho Yeo)**

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사), 1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2003년 8월 : 미국 Pennsylvania State University 전기공학과 (공학박사), 1994년 3월 ~ 1999년 6월 : 국방과학연구소 연구원  
 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



**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 산란