



마이크로스트립 패치 안테나를 이용한 습도 센서

Humidity Sensor Using Microstrip Patch Antenna

여준호*

대구대학교 AI학부

Junho Yeo*

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

[요 약]

본 논문에서는 마이크로스트립 패치 안테나와 폴리비닐알코올(PVA; polyvinyl alcohol)을 이용한 습도 센서에 대하여 연구하였다. PVA는 습도에 따라 유전율이 변하는 고분자 물질이며, 전계 변화에 민감한 마이크로스트립 패치 안테나의 방사면에 직사각형 슬롯을 추가하여 비유전율 변화에 대한 감도를 높였다. 0.76 mm 두께의 RF-35 기판에 제작된 안테나의 직사각형 슬롯이 추가된 방사면 주변을 PVA로 얇게 코팅한 후, 온습도 챔버를 사용하여 25도에서 상대습도를 40%에서 80%까지 10% 간격으로 증가시켜 안테나 입력 반사 계수의 공진 주파수와 크기의 변화를 측정하였다. 실험 결과, 상대습도가 40%에서 80%로 증가할 때 안테나 입력 반사 계수의 공진 주파수는 2.447 GHz에서 2.418 GHz로 감소하였고, 입력 반사 계수의 크기는 -7.112 dB에서 -3.428 dB로 증가하였다.

[Abstract]

In this paper, a humidity sensor using a microstrip patch antenna(MPA) and polyvinyl alcohol(PVA) is studied. PVA is a polymer material whose permittivity changes with humidity, and a rectangular slot is added to the radiating edge of the MPA, which is sensitive to changes in electric field, in order to increase the sensitivity to changes in relative permittivity. After thinly coating the area around the radiating edge with the rectangular slot of the MPA fabricated on a 0.76 mm-thick RF-35 substrate with PVA, the changes in the resonant frequency and magnitude of the MPA's input reflection coefficient are measured when relative humidity is adjusted from 40% to 80% in 10% increments at a temperature of 25 degrees using a temperature and humidity chamber. Experiment results show that when the relative humidity increases from 40% to 80%, the resonance frequency of the antenna' input reflection coefficient decreases from 2.447 GHz to 2.418 GHz, whereas the magnitude increases from -7.112 dB to -3.428 dB.

Key word : Coating, Humidity sensor, Microstrip patch antenna, Polyvinyl alcohol(PVA), Rectangular slot.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.1.71>



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 16 January 2023; Revised 31 January 2023

Accepted (Publication) 21 February 2023 (28 February 2023)

*Corresponding Author; Junho Yeo

Tel : +82-53-850-6642

E-mail : jyeo@daegu.ac.kr

1. 서 론

온도, 습도, 조도, 압력, 가속도 등의 자연계에 존재하는 물리량을 측정하여 전압, 전류, 주파수와 같은 전기량으로 변화하는 소자인 센서는 사물인터넷과 인공지능을 기반으로 지능화된 4차 산업혁명의 확산으로 인해 스마트 홈, 스마트 농장, 스마트 공장, 스마트 시티 등의 분야에서 광범위하게 사용되고 있다[1]. 특히, 온도 센서와 습도 센서는 일상 생활에서 쾌적하고 건강한 환경을 만드는 데 사용되고, 제조, 식품, 농업, 의학 등의 다양한 산업 분야에서도 중요한 역할을 하고 있다[2].

공기 중에 포함된 수증기량을 나타내는 습도는 온도와 밀접한 관계가 있어서 일반적으로 특정한 온도의 대기 중에 포함되어 있는 수증기량을 포화 수증기량으로 나눈 백분율로 표시하는 상대습도(RH; relative humidity)를 사용한다[3]. 습도 센서는 물 또는 물 분자가 가지고 있는 고유한 물리적 성질을 이용하는 방식과 흡습성 물질에 물 분자가 흡착되어 변화된 전기적 성질을 이용하는 방식으로 나눌 수 있다[4]. 전기적 성질을 이용한 습도 센서는 습도에 따른 흡습성 물질의 전기 저항 변화를 이용하는 저항 방식과 흡습성 물질의 유전을 변화에 따른 정전 용량 변화를 이용하는 정전 용량 방식으로 나눌 수 있다[5]. 저항 방식은 염(salt)에 들어 있는 이온이나 염화리튬(LiCl)이나 산화알루미늄(Al_2O_3)과 같은 도전성 고분자(conductive polymer)를 이용하여 습도에 따른 저항의 변화를 측정한다[6]. 정전 용량 방식은 폴리이미드(polyimide)나 폴리메틸 메타크릴레이트(PMMA; polymethyl methacrylate)와 같은 용량성 고분자(capacitive polymer)를 이용하여 습도에 따른 유전율을 기반으로 하여 정전 용량의 변화를 측정한다. 정전 용량 방식은 저항 방식에 비해 감도가 높고 선형성이 더 좋은 장점이 있으며, 최근에는 마이크로파 주파수 대역(0.3~300 GHz)에서 다양한 용량성 고분자 물질과 마이크로파 센서를 이용한 정전 용량 방식 습도 센서에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다[7].

용량성 고분자 물질 중에서는 폴리이미드가 가장 널리 사용되고 있다. 인터디지털 커패시터(IDC; interdigital capacitor) 구조의 전극 위에 폴리이미드를 얇게 코팅(coating)하여 10 kHz ~ 100 kHz의 주파수에서 습도가 20%에서 95%까지 변화할 때 정전용량 값의 변화를 측정하였다[8]. 습도가 증가할수록 정전 용량 값은 증가하였고, 동일한 습도에서 주파수가 증가할수록 정전 용량 값이 감소하였다. 1 GHz 대역에서 동작하는 계단형 임피던스 공진기를 이용한 필터와 7 GHz 대역에서 동작하는 전계-결합 유도-용량성 공진기를 이용한 chipless RFID(radio frequency identification) 태그에 폴리이미드와 폴리비닐알코올(PVA; polyvinyl alcohol)를 코팅하여 습도 변화에 따른 공진 주파수 특성을 비교하였다[9]. 비교 결과, PVA가 폴리이미드에 비해 습도 변화에 대한 공진 주파수 변화가 더 커서 감도가 높았다. 1.5 GHz 대역에서 IDC 모양의 결합 접지 구조를 마이크로스트립 선로의 접지면에 추가한 필터를 이용하여 PMMA, 폴리히드록시에틸 메타크릴레이트(PHEMA; polyhydroxyethyl

methacrylate), PVA의 습도 센싱 특성을 비교하였다[10]. 비교 결과, 습도 변화에 따른 전달 계수의 공진 주파수와 크기 변화를 기반으로 한 감도는 PVA, PHEMA, PMMA 순으로 크게 나타났다. 한편, 공진 안테나도 공진기로 간주할 수 있으므로 공진 안테나의 일종인 마이크로스트립 패치 안테나를 이용한 습도 센서에 관한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 마이크로스트립 패치 안테나와 용량성 고분자 물질인 PVA를 이용한 습도 센서에 관해서 연구하였다. 비유전을 변화에 대한 감도를 높이기 위해 마이크로스트립 패치 안테나의 방사면(radiating edge)에 직사각형 슬롯을 추가하였다[11]. PVA를 방사면과 직사각형 슬롯 주변에 얇은 두께로 코팅하였을 때 습도 변화에 따른 마이크로스트립 패치 안테나의 입력 반사 계수(S_{11})의 크기와 공진 주파수의 변화를 측정하였다. 습도 변화에 따른 PVA의 비유전율과 손실 탄젠트를 조사하여 상용 전자파 해석 소프트웨어인 CST사의 Studio Suite를 이용하여 안테나 입력 반사 계수의 크기와 공진 주파수 변화를 시뮬레이션하여 측정 결과와 비교하였다.

II. PVA로 코팅된 직사각형 슬롯 추가 마이크로스트립 패치 안테나의 구조 및 특성

그림 1은 PVA로 코팅된 직사각형 슬롯 추가 마이크로스트립 패치 안테나의 구조를 나타내고 있다. 패치의 방사면에 직사각형 슬롯을 추가하여 PVA 코팅이 없는 상태에서 2.5 GHz에서 입력 반사 계수가 공진하도록 안테나를 설계하였다. 그림 1에 나타나 있듯이 PVA는 마이크로스트립 패치 안테나 중에서 전기장 분포가 가장 큰 직사각형 슬롯과 방사면 주변을 완전히 덮을 수 있도록 조금 더 넓게 코팅하였다. PVA 코팅의 두께는 0.06 mm이다.

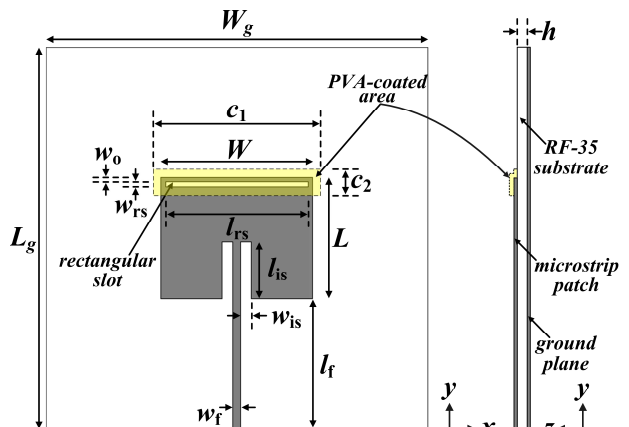


그림 1. PVA로 코팅된 직사각형 슬롯 추가 마이크로스트립 패치 안테나 구조

Fig. 1. Geometry of rectangular-slot appended microstrip patch antenna coated with PVA

표 1. 제안된 안테나의 최종 설계변수

Table 1. Final design parameters of the proposed antenna

Parameter	Value(mm)	Parameter	Value(mm)
L_g	80	l_s	12
W_g	80	W_s	2.3
L	25.4	l	27.3
W	31.8	w_1	1
l_s	29.8	c_1	35.8
W_0	1	c_2	6
W_s	1	h	0.76

표 2. 2.5 GHz에서 상대 습도에 따른 PVA의 비유전율과 손실 탄젠트

Table 2. Relative permittivity and loss tangent of PVA according to relative humidity at 2.5 GHz

relative humidity(%)	relative permittivity (ϵ_r)	loss tangent ($\tan\delta$)
40	5.2999	0.0165
50	5.7833	0.0442
60	6.2863	0.0785
70	7.2184	0.1428
80	8.8066	0.2939

표 1은 직사각형 슬롯이 추가된 마이크로스트립 패치 안테나의 설계 변수값들이 나타나 있다. 표 2에는 2.5 GHz에서 상대 습도에 따른 PVA의 비유전율과 손실 탄젠트가 나타나 있다[12]. 일반적인 고분자 물질의 비유전율은 3~6 정도이고 손실 탄젠트는 작다. 2.5 GHz에서 물의 비유전율은 77.7011이고 손실 탄젠트는 0.1197이다[13]. 상대 습도가 40%일 때 PVA의 비유전율과 손실 탄젠트는 각각 5.2999와 0.0165로 작다. 그러나 습도가 증가할수록 PVA의 고분자 사이에 물 분자가 흡수되어 등가적인 비유전율과 손실 탄젠트가 커지는 것을 알 수 있다. 상대 습도가 80%일 때 비유전율은 8.8066으로 40%일 때와 비교해서 1.7배 정도 증가하나 손실 탄젠트는 0.2939로 17.8배 증가한다.

그림 2는 표 2의 상대 습도에 따른 PVA의 비유전율과 손실 탄젠트를 이용하여 그림 1과 같이 PVA로 코팅된 직사각형 슬롯이 추가된 마이크로스트립 패치 안테나의 입력 반사 계수를 시뮬레이션한 결과이다. PVA 코팅이 없을 때(air), 안테나의 공진 주파수는 2.5 GHz이고 입력 반사 계수의 크기는 -30.69 dB이다. PVA로 코팅한 후 상대 습도가 40%일 때, 공진 주파수는 2.4583 GHz로 낮은 주파수로 이동하고 입력 반사 계수의 크기는 -31.23 dB로 비슷하다. 상대 습도가 50%일 때, 공진 주파수는 2.4555 GHz로 조금 더 낮은 주파수로 이동하고 입력 반사 계수의 크기는 -27.25 dB로 커진다. 상대 습도가 60%일 때, 공진 주파수는 2.4532 GHz로 조금 더 낮은 주파수로 이동하고 입력 반사 계수의 크기는 -17.89 dB로 더 커진다. 상대 습도가 70%일 때, 공진 주파수는 2.4495 GHz로 더 낮은 주파수로 이동하고 입력 반사 계수의 크기는 -11.41 dB로 커진다. 상대 습도가 80%일 때, 공진 주파수는 2.4342 GHz로 더 낮은 주파수로 이동하고 입력 반사 계수의 크기는 -5.33 dB로 커진다.

상대 습도의 변화에 따른 안테나의 공진 주파수와 입력 반

사 계수 크기의 변화를 비교하기 위해 백분율 상대 주파수 이동(PRFS; percent relative frequency shift)와 백분율 상대 크기 이동(PRMS; percent relative magnitude shift)을 다음과 같이 정의하고[10], 그림 2에 결과를 나타내었다.

$$PRFS = \left| \frac{\Delta f_r}{f_{r1}} \right| = \left| \frac{f_{r1} - f_{r2}}{f_{r1}} \right| \times 100(\%) \quad (1)$$

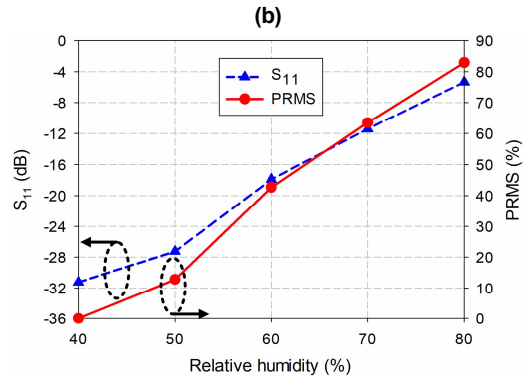
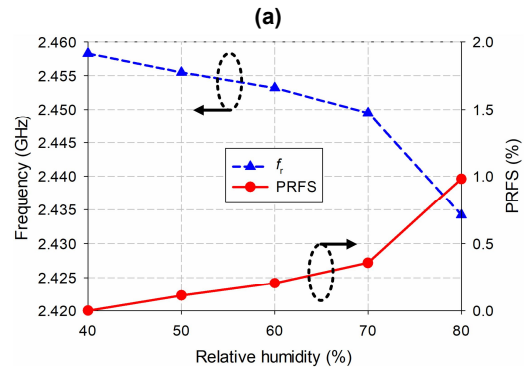
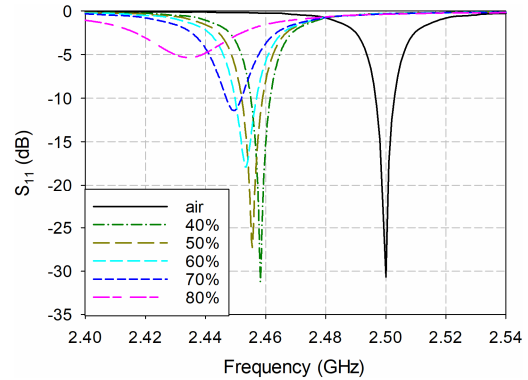


그림 2. 상대 습도 변화에 따른 안테나 입력 반사 계수의 시뮬레이션 결과: (a) 입력 반사 계수 특성, (b) 공진 주파수와 PRFS, (c) 크기와 PRMS

Fig. 2. Simulation results of the antenna's input reflection coefficient according to changes in relative humidity: (a) input reflection coefficient characteristic, (b) resonant frequency and PRFS, and (c) magnitude and PRMS

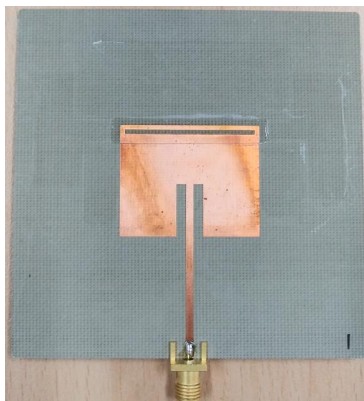
$$PRMS = \left| \frac{\Delta S_{11}}{S_{11,1}} \right| = \left| \frac{S_{11,1} - S_{11,2}}{S_{11,1}} \right| \times 100(\%) \quad (2)$$

여기서 $f_{r,1}$ 과 $S_{11,1}$ 은 기준이 되는 상대 습도에서 안테나 입력 반사 계수의 공진 주파수와 크기이고, $f_{r,2}$ 과 $S_{11,2}$ 은 비교할 상대 습도에서 안테나 입력 반사 계수의 공진 주파수와 크기이다.

상대 습도 40%를 기준으로 하여 상대 습도를 50%, 60%, 70%, 80%로 증가시켰을 때 공진 주파수의 PRFS는 0.11%, 0.21%, 0.36%, 0.98%이며, 크기의 PRMS는 12.76%, 42.72%, 63.46%, 82.91%이다. 따라서 공진 주파수의 변화보다는 크기의 변화가 훨씬 더 큰 것을 알 수 있다.

III. 제작 및 실험 결과

앞 절에서 설명한 안테나의 상대 습도에 대한 입력 반사 계수 특성 변화 시뮬레이션 결과를 바탕으로 RF-35 기판($\epsilon_r = 3.5$, $h = 0.76 \text{ mm}$, $\tan \delta = 0.0018$)에 직사각형 슬롯이 추가된 마이크로스트립 패치 안테나를 제작한 후 그림 3과 같이 직사각형 슬롯과 방사면 주변에 PVA를 코팅하였다. PVA는 중합도(degree of polymerization)가 1500이고 비누화도(degree of saponification)가 99%인 Yakuri Pure Chemicals사 제품을 질량 백분율(wt%)이 5가 되도록 탈이온수(deionized water)에 용해하였다. 코팅 영역에 145 mg을 떨어뜨려 브러쉬를 이용하여 코팅하였고 오븐에서 섭씨 60도의 온도에서 120분 건조하였다.



(a)



(b)

그림 3. 제작된 PVA가 코팅된 안테나 사진: (a) 전체 구조, (b) 코팅 영역

Fig. 3. Photograph of fabricated antenna coated with PVA: (a) whole structure and (b) coating area

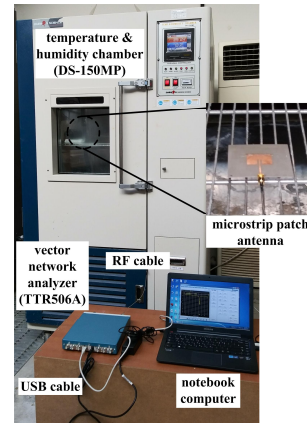


그림 4. 측정 setup 사진

Fig. 4. Photograph of measurement setup

그림 4의 측정 setup과 같이 대원 과학의 DS-150MP 온습도 챔버를 사용하여 섭씨 25도의 온도에서 상대 습도를 40%에서 80%까지 10% 간격으로 변화시키고 Tektronix사 TTR506A 벡터 네트워크 분석기를 사용하여 제작된 안테나의 입력 반사 계수를 측정하였다. 온습도 챔버 내의 습도를 안정화시키고 코팅 영역에 물기가 충분히 흡수되도록 하기 위해 각 상대 습도에서 1시간 동안 유지한 후 입력 반사 계수를 측정하였다.

상대 습도 변화에 따라 PVA가 코팅된 마이크로스트립 패치 안테나의 측정된 입력 반사 계수 특성이 그림 5에 나타나 있다. PVA가 코팅되지 않았을 때(air) 제작된 마이크로스트립 패치 안테나의 입력 반사 계수 공진 주파수는 2.5075 GHz로 시뮬레이션 결과 보다 약간 높은 주파수로 이동하였고, 크기는 -11.69 dB로 크게 나왔다. 상대 습도가 40%에서 80%로 증가할수록 입력 반사 계수의 크기는 증가하고 공진 주파수는 감소하는 것을 알 수 있다. 상대 습도가 40%일 때, 공진 주파수는 2.447 GHz이고 입력 반사 계수의 크기는 -7.41 dB이다. 상대 습도가 50%일 때, 공진 주파수는 2.446 GHz이고 입력 반사 계수의 크기는 -7.23 dB이다. 상대 습도가 60%일 때, 공진 주파수는 2.445 GHz이고 입력 반사 계수의 크기는 -6.84 dB이다. 상대 습도가 70%일 때, 공진 주파수는 2.439 GHz이고 입력 반사 계수의 크기는 -5.61 dB이다. 상대 습도가 80%일 때, 공진 주파수는 2.418 GHz이고 입력 반사 계수의 크기는 -3.43 dB이다. 시뮬레이션 결과와 비교할 때 공진 주파수는 더 낮게 측정되었고 크기는 더 크게 나왔다.

측정된 공진 주파수의 PRFS는 상대 습도 40%를 기준으로 하여 상대 습도를 50%, 60%, 70%, 80%로 증가시켰을 때 0.04%, 0.08%, 0.33%, 1.19%이며, 측정된 크기의 PRMS는 2.43%, 7.72%, 24.36%, 53.74%이다. 측정된 공진 주파수의 PRFS는 상대 습도가 50%~60%일 때는 시뮬레이션 결과 보다 2배 이상 낮게 나왔고, 상대 습도가 70%일 때는 비슷하게 나왔으며 80%일 때는 조금 더 높게 나왔다. 측정된 크기의 PRMS는 시뮬레이션 결과에 비해 1.5배~5.3배 낮게 측정되었다.

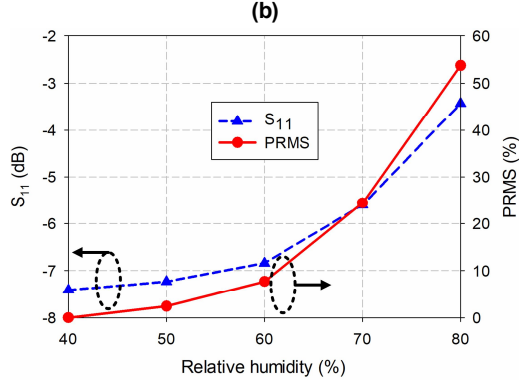
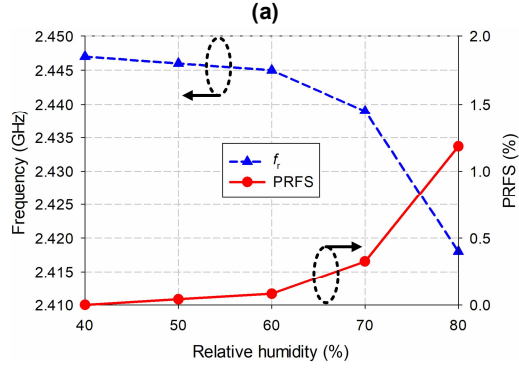
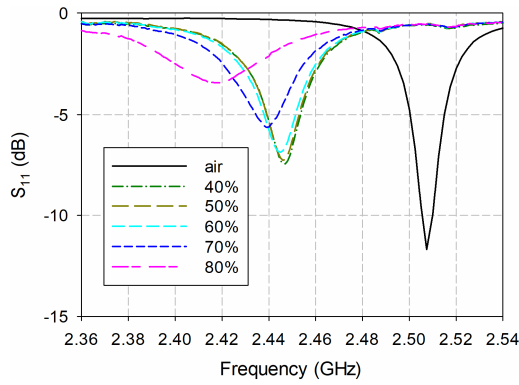


그림 5. 상대 습도 변화에 따른 제작된 안테나 입력 반사 계수의 측정 결과: (a) 입력 반사 계수 특성, (b) 공진 주파수와 PRFS, (c) 크기와 PRMS

Fig. 5. Measured results of the fabricated antenna's input reflection coefficient according to changes in relative humidity: (a) input reflection coefficient characteristic, (b) resonant frequency and PRFS, and (c) magnitude and PRMS

시뮬레이션 결과와 측정 결과의 차이는 시뮬레이션에 사용한 상대 습도에 따른 PVA의 비유전율과 손실 탄젠트가 참고문헌 [12]의 것을 그대로 사용하여 습도 노출 시간과 코팅 두께가 달라 그 값들이 다를 수 있고 안테나 제작과 측정 시 발생하는 오차에 의해 발생하는 것으로 판단된다. 측정된 입력 반사 계수의 공진 주파수, 크기, PRFS, PRMS를 시뮬레이션 결과와 표 3과 표 4에 비교하였다.

표 3. 상대 습도별 시뮬레이션 및 측정 입력 반사 계수의 공진 주파수와 크기 비교

Table 3. Comparison of simulated and measured input reflection coefficient's resonant frequency and magnitude according to relative humidity

relative humidity (%)	simulated resonant frequency (GHz)	measured resonant frequency (GHz)	simulated magnitude (dB)	measured magnitude (dB)
40	2.4583	2.447	-31.23	-7.41
50	2.4555	2.446	-27.25	-7.23
60	2.4532	2.445	-17.89	-6.84
70	2.4495	2.439	-11.41	-5.61
80	2.4342	2.418	-5.34	-3.43

표 4. 상대 습도별 시뮬레이션 및 측정 입력 반사 계수의 PRFS와 PRMS 비교

Table 4. Comparison of simulated and measured input reflection coefficient's PRFS and PRMS according to relative humidity

relative humidity (%)	simulated PRFS (%)	measured PRFS (%)	simulated PRMS (%)	measured PRMS (%)
40	0	0	0	0
50	0.11	0.04	12.76	2.43
60	0.21	0.08	42.72	7.72
70	0.36	0.33	63.46	24.36
80	0.98	1.19	82.91	53.74

IV. 결 론

본 논문에서는 2.5 GHz 대역에서 마이크로스트립 패치 안테나와 용량성 고분자 물질인 PVA를 이용한 습도 센서에 대해서 연구하였다. 마이크로스트립 패치 안테나의 방사면에 직사각형 슬롯을 추가하여 비유전율 변화에 대한 감도를 높였다. 0.76 mm 두께의 RF-35 기판에 제작된 안테나의 방사면과 직사각형 슬롯 주변에 PVA를 0.06 mm 두께로 코팅하였을 때 상대 습도 변화에 따른 안테나의 입력 반사 계수의 크기와 공진 주파수의 변화를 측정하였다.

온습도 챔버를 사용하여 섭씨 25도의 온도에서 상대 습도를 40%에서 80%까지 10% 간격으로 각 상대 습도를 1시간 동안 유지하여 안테나의 입력 반사 계수의 크기와 공진 주파수를 측정하였다. 시뮬레이션 결과, 상대 습도가 40%에서 80%로 증가할 때 입력 반사 계수의 공진 주파수가 2.4583 GHz에서 2.4342 GHz로 감소하였고 크기는 -31.23 dB에서 -5.34 dB로 증가하였다. 실험 결과, 공진 주파수가 2.447 GHz에서 2.418 GHz로 감소하였고 크기는 -7.41 dB에서 -3.43 dB로 증가하였다. 따라서 직사각형 슬롯을 추가한 마이크로스트립 패치 안테나의 입력 반사 계수의 크기와 공진주파수의 변화를 이용하여 상대 습도의 변화를 측정할 수 있음을 확인하였다.

제안된 마이크로스트립 패치 안테나 기반 습도 센서는 사물인터넷이나 RFID 분야에서 유선이나 무선으로 습도를 측정하

는 센서로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] M. Javaid, A. Haleem, R. P. Singh, S. Rab, and R. Suman, “Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications,” *Sensors International*, Vol. 2, p. 100110, 2021.
- [2] The importance of temperature and humidity sensors [Internet]. Available: <https://www.comptus.com/the-importance-of-temperature-and-humidity-sensors/>
- [3] Z. Chen and C. Lu, “Humidity sensors: a review of materials and mechanisms,” *Sensor Letters*, Vol. 3, No. 4, pp. 274–295, 2005.
- [4] C. Y. Lee and G. B. Lee, “Humidity sensors: a review,” *Sensor Letters*, Vol. 3, pp. 1–15, 2005.
- [5] S. Ali, A. Hassan, G. Hassan, L. Bae, and C. Lee, “All-printed humidity sensor based on graphene/methyl-red composite with high sensitivity,” *Carbon*, Vol. 105, pp. 23–32, Aug. 2016.
- [6] H. Farahani, R. Wagiran, and M. N. Hamidon, “Humidity sensors principle, mechanism, and fabrication technologies: a comprehensive review,” *Sensors*, Vol. 14, pp. 7881–7939, 2014.
- [7] H. Yu, C. Wang, F. Meng, J. Xiao, J. Liang, H. Kim, S. Bae, D. Zou, E. S. Kim, N. Y. Kim, M. Zhao, and B. Li, “Microwave humidity sensor based on carbon dots-decorated mof-derived porous Co_3O_4 for breath monitoring and finger moisture detection,” *Carbon*, Vol. 183, pp. 578-589, 2021.
- [8] S. W. Hong, Y. M. Kim, and Y. C. Yoon, “Development of capacitive type humidity sensor using polyimide as sensing layer,” *Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology*, Vol. 12, No. 4, pp. 366–372, Aug. 2019.
- [9] E. M. Amin, N. C. Karmakar, and B. W. Jensen, “Polyvinyl-alcohol (PVA)-based RF humidity sensor in microwave frequency,” *Progress in Electromagnetic Research B*, Vol. 54, pp. 149–166, 2013.
- [10] J. Yeo and Y. H. Kwon, “Humidity sensing performance of defected ground structure-based microwave sensors coated with PMMA, PHEMA, and PVA,” *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 36, No. 4, pp. 1194–1200, Apr. 2021.
- [11] J. Yeo and J.-I. Lee, “Slot-loaded microstrip patch sensor antenna for high-sensitivity permittivity characterization,” *Electronics*, Vol. 8, p. 502, May 2019.
- [12] D. Lu, M. Maasch, A. Penirschke, Y. Zheng, C. Damm, and R. Jakoby, “Broadband permittivity characterization of polyvinyl-alcohol film for humidity sensing applications,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 64, No. 10, pp. 3255–3263, Oct. 2016.
- [13] S. Mosbah, C. Zebiri, D. Sayad, I. Elfergani, M. L. Bouknia, S. Mekki, R. Zegadi, M. Palandoken, J. Rodriguez, and R. A. Abd-Alhameed, “Compact and highly sensitive bended microwave liquid sensor based on a metamaterial complementary split-ring resonator,” *Applied Sciences*, Vol. 12, No. 4, p. 2144, 2022.



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