

커피 수분측정 및 통신용 이중대역 패치 안테나

Dual-Band Patch Antenna for Communication and Moisture Measurement of Coffee Beans

설 창 환 · 정 유 정

Changhwan Sul · Youchung Chung

요 약

커피콩의 수분함량에 따라서 유전율이 변화하며, 수분함량 변화가 커피 맛에 영향을 준다. 패치 안테나 위에 올려진 커피콩의 유전율의 변화에 따른 주파수와 반사손실의 변화에 따라서 수분함량의 변화를 예측 가능하다. 본 논문에서는 수분 측정이 가능한 3.8~4 GHz 측정 대역과 송수신이 가능한 Wi-Fi 2.45 GHz 두 대역을 사용 가능한 이중대역 안테나를 설계하였다. 커피콩의 수분 함량이 2%~15% 변화함에 따라서 반사손실의 크기가 3.6~4 GHz 상에서 다른 반응을 보임을 simulation과 측정에서 입증하였다. 본 안테나를 사용하여 콩, 쌀 등의 수분 함량을 측정이 가능하며 다양하게 적용이 가능하다.

Abstract

The moisture content of a coffee bean affects its permittivity, and changing the moisture content of a coffee bean changes the taste of the coffee. The variation in the moisture content of a coffee bean can be predicted by the change in frequency and reflection coefficient values with respect to the variation in the permittivity of the bean when it is placed on a patch antenna. In this study, a dual-band patch antenna is designed, which has a moisture measurement band of 3.8~4 GHz that can measure the moisture level of a material; the antenna has a Wi-Fi transmit and receive band of 2.45 GHz. Through simulations and measurements, this study proved that the level of return losses changed from 3.6 to 4 GHz when the moisture content of a coffee bean changed from 2 to 15%. The moisture levels of rice and other beans can be measured with the designed antenna, which can be applied to various applications.

Key words: Dual-Band Patch Antenna, Coffee Moisture Measurement, Permittivity Measurement

I. 서 론

커피의 주요 원료인 원두는 볶는 과정인 로스팅 과정을 통해 향과 맛을 낸다. 이러한 로스팅 과정에서 커피콩의 수분량은 2%~15% 정도로 달라지며 원하는 맛과 향을 내기 위해서는 로스팅 과정에서 적당한 숙달이 필요

하다. 이러한 수분의 변화는 커피콩의 유전율을 변화시키며, 맛에도 영향을 미치게 된다.

수분의 변화에 따른 물체의 유전율 변화는 연구되었으며^[1], 레이더를 통한 토양의 수분함량 측정연구 또한 연구되었다.^[2] 유전율의 변화는 안테나의 반사손실의 크기 변화와 주사수의 변화에 따라서 유추 가능하며, 이는 곧

「이 연구는 대구대학교 연구비의 지원으로 연구되었음.」

대구대학교 정보통신학부(Information Communication Engineering, Daegu University)

· Manuscript received April 26, 2018 ; Revised June 25, 2018 ; Accepted August 6, 2018. (ID No. 20180426-054)

· Corresponding Author: Youchung Chung (e-mail: youchung@daegu.ac.kr)

커피콩의 수분을 유추 가능하게 한다. 측정용도에 맞도록 주파수를 설정하여 설계를 하는데, 대체적으로 설계가 쉬운 패치안테나의 이중대역 구조가 많이 사용되어 왔다^{3)~5)}. 최적화된 아주 작은 다이형 패치 안테나의 군집된 형태로서 비교적 낮은 대역에서 유전율 변화를 측정하여 흡의 수분 변화를 측정하는 동시에 측정된 값을 통신대역을 통해 전송 가능한 이중대역 안테나가 소개되었었다⁶⁾.

본 논문은 커피를 측정 부분 안테나의 방사면 위에 밀착된 커피콩을 올려놓고 반사손실과 주파수의 변화를 측정함으로써 커피의 수분을 측정한다. 이렇게 측정된 값은 Wi-Fi 대역으로 송신 또는 수신을 할 수 있는 이중대역 안테나를 설계하는 것을 목적으로 한다. 통신 대역은 Wi-Fi, Bluetooth에 사용되는 IEEE 802.15 규격 2.47 GHz 대역에서 동작하며, 이 통신 대역은 콩의 수분 함량과 유전율의 변화에도 주파수가 변화하지 않도록 설계를 하였다. 커피콩의 수분을 측정하는 패치 안테의 부분은 수분을 측정하는 3.6~4 GHz 대역을 사용하도록 안테나를 설계하였다.

II. 본 론

그림 1은 커피콩의 수분 측정안테나로 그림에서 보여주는 파라미터들로 설계되었으며 유전율 3.2를 가지는 30 mil 두께를 가진 IS680 RF 보드를 사용하였다. 안테나는 Wi-Fi, Bluetooth 통신에 사용하는 2.47 GHz 대역과 다른

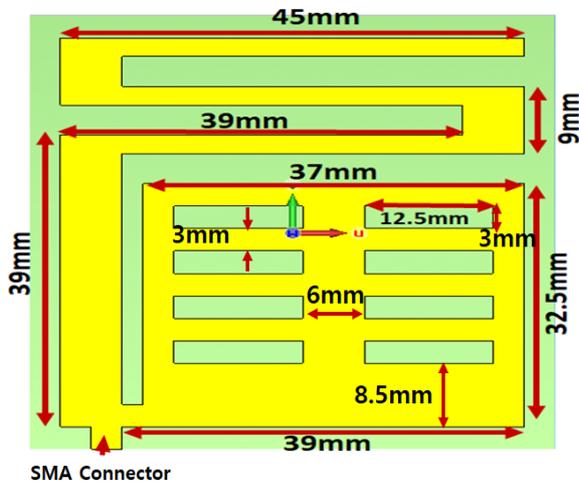


그림 1. 수분 측정용 이중대역 패치 안테나
Fig. 1. Dual-band patch antenna for moisture measurement.

통신대역에 영향을 미치지 않으면서 고주파 대역으로 안테나의 측정에 민감한 3.6~4 GHz 두 가지 대역을 많은 simulation과 제작과정을 통하여 결정하였다.

그림 1에서 안테나의 왼쪽과 위쪽 부분은 통신용 안테나 부분이고, 오른쪽 아래의 부분은 수분 측정용 안테나 부분이다.

그림 2는 그림 1에서 소개된 안테나에 갈아진 커피콩을 측정 부분 안테나 위에 약 10 mm 두께로 커피가 놓아진 모습이다. 커피를 특정 해당 위치에만 올려 설계한 이유는 통신에 사용되는 주파수가 커피의 유전율 변화가 영향을 끼치지도록 하지 않기 위해서이다. 커피가 올려진 부분은 커피의 수분의 함량을 측정하기 위한 부분으로 유전율 변화에 민감하도록 많은 안테나 구조를 simulation 하고, 여러 구조를 제작하여 측정을 한 결과를 통해 설계되었다.

커피콩의 수분변화는 커피의 맛과 콩의 유전율의 변화에 영향을 미치므로, 본 안테나를 사용하여 커피콩의 수분에 따른 유전율의 변화를 측정하였다. 유전율의 측정에 사용된 유전율 측정기는 Agilent 85070E Dielectric Probe kit를 사용하였으며, 측정은 총 10회 반복하여 평균값을 사용하였고, 수분측정은 일반적으로 많이 사용되는 수분 측정기를 사용하여 측정하였다. 그 결과, 생두의 수분은 15%에서의 유전율은 약 3.2가 나타났으며, 수분이 2% 가량의 원두의 유전율은 약 1.56으로 측정되었다.

그림 3은 유전율에 따라 안테나의 반사계수를 보여준다.

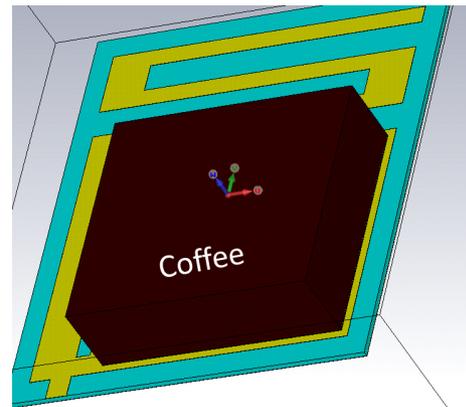


그림 2. 듀얼-밴드 패치 안테나와 놓여진 커피콩
Fig. 2. Dual-band patch antenna with placed coffee bean.

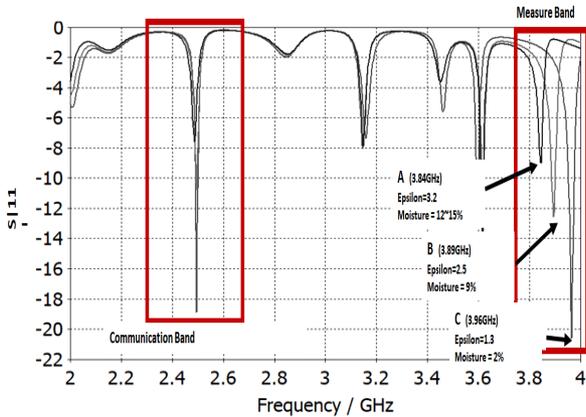


그림 3. 유전율 변화에 따른 주파수와 반사계수의 크기
Fig. 3. Variation of S_{11} vs. variation of permittivity.

그림 3에서 A는 유전율 3.2를 가지는 생두(수분 15%)의 반사손실 값을 나타내며 이는 3.84 GHz에서 -8 dB의 수치를 가진다. B(수분이 약 9%)는 유전율 2.5인 커피로서 반사손실 값이 3.89 GHz에서 -9 dB의 수치를 가진다. C(수분 약 2%)는 유전율이 1.3으로서 반사손실 값은 3.96 GHz에서 -16 dB의 수치를 가진다. 2.47 GHz의 통신대역에서의 주파수 변화와 반사손실 값이 거의 변화가 없으며, 3.8~4 GHz까지 반사손실의 변화가 유전율에 따라서 크게 변화함을 보여준다. 이를 통하여 유전율 변화에 따른 통신대역의 주파수와 반사손실 값의 변화를 주지 않으면서 측정을 위한 주파수 대역의 반사손실의 변화는 크게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

이러한 측정을 통해 3.6~4 GHz의 반사계수 측정이 가능한 시스템을 설계한다면 반사계수 변화에 따른 콩의 변화와 수분을 측정할 수 있으며, 측정된 수분에 따른 맛의 선별이 가능하다.

그림 4의 두 그림은 통신대역(2.47 GHz)에서 안테나 방사패턴이다. 그림 4(a)는 Phi 방향(x-y평면)의 패턴이며, 안테나의 이득은 최대 1.7 dBi이다. 그림 4(b)는 Theta 방향(x-z평면)의 패턴이며 최대 이득은 6.55 dBi이다.

그림 5의 두 그림은 측정 대역(3.857 GHz)에서 안테나 방사패턴이다. 그림 5(a)는 Phi 방향(x-y평면)의 패턴이며, 안테나의 주엽의 이득은 279°에서 최대 2.39 dBi이다. 그림 5(b)는 Theta 방향(x-z평면)의 패턴이다.

그림 6은 유전율 3.2를 가지는 30 mil 두께를 가진 IS680

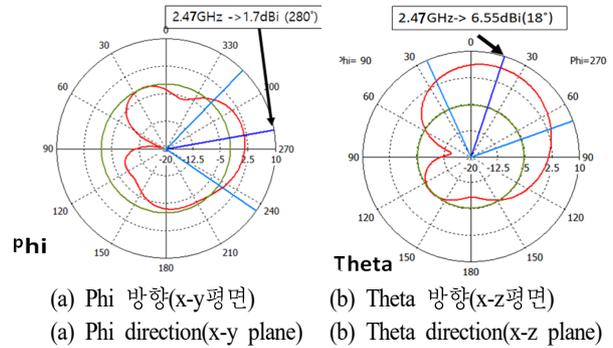


그림 4. 안테나 방사패턴(x-y, x-z평면)
Fig. 4. Antenna pattern of measurement band(x-y, x-z plane).

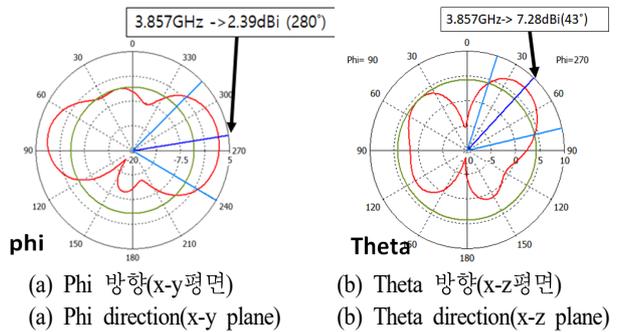


그림 5. 안테나 방사패턴(x-y, x-z평면)
Fig. 5. Antenna pattern of communication band(x-y, x-z plane).

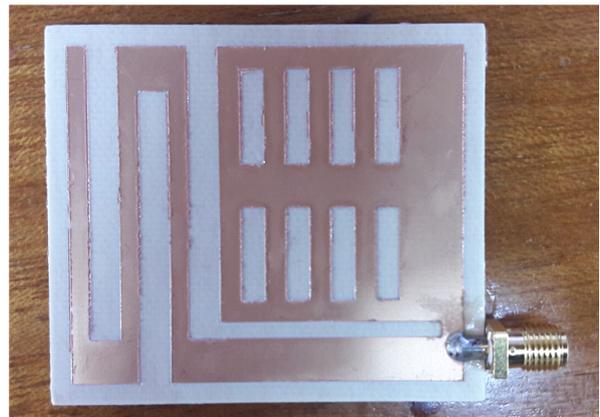


그림 6. 제작한 이중대역 패치 안테나
Fig. 6. Fabricated dual-band patch antenna.

RF 보드를 사용하여 실제 제작한 패치 안테나의 모습이다.
그림 7은 제작한 안테나를 Network Analyzer를 통하여

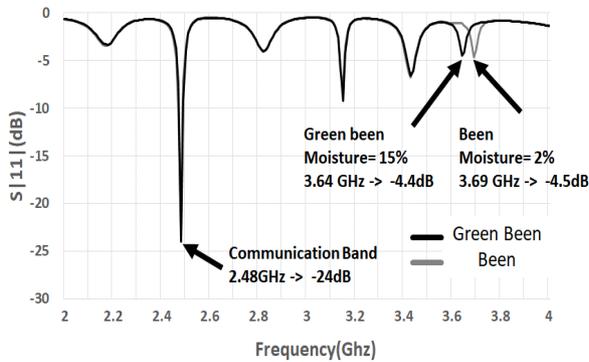


그림 7. 커피콩 수분함량에 따른 주파수와 반사계수 변화
Fig. 7. Variation of S_{11} vs. variation of coffee moisture.

측정한 S_{11} 의 그림이다. 측정결과, 2.48 GHz의 통신대역에서 약 -24 dB의 반사손실을 보였고, 측정하는 콩에 따라서 크기의 변화가 거의 없었다. 생두(수분 약 15%)와 원두(수분 2%)의 두 가지를 안테나로 측정하였다. 생두는 3.64 GHz에서 반사 손실이 약 -4.4 dB의 반사손실을 보였으며, 원두는 3.69 GHz에서 -4.5 dB의 반사손실을 보였다. 실제 실험수치와 약간의 오차는 있지만 해당 측정결과와 유사한 결과를 볼 수 있다.

III. 결 론

본 논문은 커피의 수분을 패치 안테나를 통하여 측정 가능한 이중대역 안테나를 설계하였다. 설계 결과, 시뮬레이션에서는 통신이 가능한 2.48 GHz에서 측정된 반사계수의 수치가 약 -24 dB로서 simulation보다 개선된 결과를 보여 주었다. 커피 수분 측정을 위한 3.6~4 GHz 대역에서 simulation 통해 유전율 3.2를 가지는 생두(수분 약 15%)의 반사손실의 결과는 3.84 GHz에서 -8 dB의 수치를, 수분 9%인 콩(유전율 2.5)의 반사손실은 3.89 GHz에서 -9 dB의 수치를, 그리고 수분 2% 콩(유전율 1.3)의 반사손실은 3.96 GHz에서 -16 dB의 수치를 보여주었다. 측정치에서는 두 가지만을 측정하였다. 수분이 15%인 생두는 약 3.64 GHz에서 -4.4 dB의 반사손실을 보여 주었으며, 약 9%의 원두는 3.69 GHz에서 -4.5 dB의 반사

손실을 보였다. 두 가지의 측정치는 simulation과 유사한 주파수 대역을 보여주며, 다만 반사계수의 크기 면에서는 다른 면을 보여주었다.

본 안테나의 설계를 통하여 커피 원두의 유전율 변화에 따른 수분을 안테나의 반사계수의 변화와 주파수의 변화를 확인할 수 있으며, 수분변화를 예측할 수 있었다. 본 결과를 바탕으로 다른 곡물에도 적용이 가능함을 보여주었다. 추후에 작은 하나의 안테나로서 측정과 통신이 가능한 안테나로서 동작이 가능한 안테나를 설계하는 것을 목표로 한다.

References

- [1] U. W. Palme, "Microwave X-band radiometric characterization of Brazilian soils by measurement of the complex permittivity," in *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Edinburgh, UK, Sep. 1988, pp. 1557-1561.
- [2] 김이현, 홍석영, 이재은, "레이더 산란계 후방산란계수를 이용한 토양수분함량 추정," *한국토양비료학회지*, 45(2), pp. 127-134, 2012년.
- [3] 허준, 변강일, 추호성, 계영철, "단층 간접급전구조를 이용한 이중대역 GPS 안테나 설계," *한국전자과학회 논문지*, 27(9), pp. 775-782, 2016년 9월.
- [4] 염인수, 정창원, "소형 고 격리도 듀얼밴드 MIMO 안테나," *한국전자과학회논문지*, 21(8), pp. 865-871, 2010년 8월.
- [5] R. Lelaratne, R. J. Langley, "Dual-band patch antenna for mobile satellite systems," in *IEE Proceedings - Microwaves, Antennas and Propagation*, Dec. 2000, vol. 147, no. 6, pp. 427-430.
- [6] P. Soontornpipit, C. M. Furse, Y. C. Chung, and B. M. Lin, "Optimization of a buried microstrip antenna for simultaneous communication and sensing of soil moisture," *IEEE Transactions on Antenna Propagation*, vol. 54, no. 3, pp. 797-800, Mar. 2006.

설 창 환



2016년: 대구대학교 통신공학과 (공학사)
 2014년 12월: 경북벤처창업 동아리대회 3위
 2016년 1월: 한국통신학회 우수논문 선정
 2016년 5월: 한국IT서비스학회 IT융합 비
 즈니스모델 공모전 장려상
 [주 관심분야] RFID 태그 안테나 설계, 센
 서 안테나, 유전율 측정, 마이크로프로
 세서와 센서적용 수화용 글로브

정 유 정



1990년: 인하대학교 전기공학과 (공학사)
 1994년: University of Nevada 전기전자공
 학과 (공학석사)
 1999년: University of Nevada 전기전자공
 학과 (공학박사)
 2000년 1월~2004년 4월: Utah State Uni-
 versity, ECE Dept. 연구조교수
 2003년 5월~2004년 8월: University of Utah, ECE Dept. 연구조
 교수
 2004년~현재: IEEE Senior Member
 2006년~2008년: Associate Editor of International Journal of An-
 tenna Propagation(IJAP)
 2012년 9월: 교육과학기술부장관 표창
 2015년 9월: 중소기업청장 표창 및 젊은공학교육자상
 2004년 9월~현재: 대구대학교 정보통신공학과 교수
 [주 관심분야] RFID, 유전자 알고리즘을 이용한 안테나, 배열안
 테나 최적화, 다중밴드 안테나 최적화, Live Wire 오류검침,
 센서 안테나