The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 18, No. 5, pp.223-228, Oct. 31, 2018. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.5.223
JIIBC 2018-5-29

# 동축 공동 공진기를 이용한 물방울 감지 센서 설계에 관한 연구

# Design of the Rain Sensor using a Coaxial Cavity Resonator

이윤민*, 김진국**

**Yun-Min Lee*, Jin-Kook Kim****

**요 약** 본 논문은 동축 공동 공진기를 이용한 레인센서를 설계하고 제작한다. 선형적으로 빗방울을 감지할 수 있는 레인센서는 전압 제어 발진기 (VCO), 동축 공동 공진기, RF 스위치, RF 검출기, A / D 컨버터, DAC 및 마이크로 컨트롤러로 구성되었다. 설계된 레인 센서의 작동 주파수 범위는 2.5GHz ~ 3.2GHz이며, 입력 전압과 전류 소스는 24 [V / DC]와 1 [A]이다. 설계된 센서 회로는 VCO, RF 스위치, 고주파수 3GHz에서 소자의 주파수 특성을 변화시키는 RF 검출기를 포함한다. 센서 회로의 주파수 특성에 대한 오차를 교정한다. 이를 위해 공진기에 신호를 보내지 않고 RF 검출기로 신호를 직접 전달하는 기준 경로를 만든다. 시뮬레이션 및 측정 결과에 따르면 시뮬레이션된 공진기 주파수와 제작된 공진기 주파수 사이에 0-50MHz 차이가 있음을 알 수 있다.

**Abstract** In this paper the water sensor using a coaxial cavity resonator is designed and manufactured. The water sensor which can sense water drop linearly has been constructed with voltage controlled oscillator(VCO), coaxial cavity resonator, RF switch, RF detector, A/D converter, DAC and micro controller. The operating frequency range of the designed water sensor is from 2.5GHz to 3.2GHz and the input voltage and current source are 24[V/DC] and 1[A]. The designed sensor circuit includes VCO, RF switch, RF detector which varies the frequency characteristics of the devices in the high frequency of 3GHz. And so we should correct the error of the frequency characteristics of those devices in the sensor circuit. To do this, we make the reference path which switches the signals to the RF detector directly without sending it to the resonator. According to the result of simulation and measurement, we can see that there is 0-50MHz difference between simulated resonator frequency and manufactured resonator frequency.

**Keywords :** Coaxial Cavity Resonator, VCO, RF Detector, Water Sensor, Resonant Frequency

## Ⅰ. 서 론

최근 정보통신산업의 비약적인 발전으로 각종 정보기기가 개발되고 실용화되어 다양한 분야에 적용되고 있는 가운데 스마트 그리드, 사물 인터넷(IoT)[1] 등과 같은 기술들이 급속도로 발전하면서 센서의 중요성은 더욱 증대되고 있다. 이와 같은 센서 중에서 물과 관련된 센서 기술은 물방울의 양을 측정하는 센서, 유전율을 측정하는 센서[2], 수분의 양을 측정하는 센서[3], 물의 양에 따라 자동차의 와이퍼를 구동하는 센서[4] 등과 같은 분야에 사용되고 있다. 기존에는 물의 유무나 수량을 측정하는 센서

*정회원, 경민대학교 정보통신과
**정회원, ㈜케이뉴 대표이사
접수일자 : 2018년 7월 2일, 수정완료 : 2018년 9월 3일
게재확정일자 : 2018년 10월 5일

Received: 2 July, 2018 / Revised: 3 September, 2018 / Accepted: 5 October, 2018
*Corresponding Author: e-mail : lymcall@naver.com
Dept. of Information & Communication, Kyungmin University, Korea

로, 정전용량의 변화를 이용하는 정전방식[5], 유리와 물방울의 경계면으로 입사되는 빛과 반사되는 빛 사이에 광량 변화로 물방울의 양을 감지하는 광학 방식[6], 등과 같은 기술들로 구현되었으나, 센서로서 정밀도가 많이 떨어지는 문제점이 있었다.

본 논문에서는 물방울을 감지할 수 있는 센서로 마이크로파의 공진 원리를 이용하여 물방울을 감지할 수 있는 센서를 설계하고 제작할 수 있음을 보여주고자 한다.

물방울을 감지할 수 있는 센서를 설계하기 위해서 2.5GHz부터 3.2GHz 주파수 대역에서 공진하는 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기 구조를 제작할 센서에 적용하였다. 센서 회로는 동축 공동 공진기의 주파수 변화 영역에서 사용할 수 있는 전압 제어 발진기(VCO), RF 스위치, RF 감지기, DAC, MCU와 전원부 등으로 구성되어 있으며, MCU에서 각 주파수별 제어를 통해서 물방울 변화에 따른 공진 주파수의 변화를 감지하게 된다.

## II. 레인센서 구조 설계

동축 공동 공진기(Coaxial Cavity Resonator)는 동축 전송 선로의 양끝을 단락시킨 공진기로서 공진기의 파라미터 변화에 따라서 특정한 주파수에서 공진현상이 발생한다[7]. 본 논문에서는 Y.M. Lee[8]등의 연구에서 제안한 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기의 구조에 대한 경험적 설계 방법과 물방울 변화에 따른 공진 주파수 변화 등에 대한 기술을 이용하고, 이를 바탕으로 제안된 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기의 구조를 제작하고자하는 물방울 감지 센서의 설계에 적용하도록 한다. 그림 1은 한쪽 면이 열린 동축 공동 공진기를 나타낸 것이다. 공진기의 열린 면에는 유리가 놓이게 되고, 공진기의 양쪽 면에 급전을 위한 포트를 설계한다.

기본적인 동축 선로 식 (1), (2) 으로부터 유도된 L과 C값으로부터 계산될 수 있다[9][10].

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0}{ln\left(\frac{b}{a}\right)} \cdot l \quad [F] \tag{1}$$

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \cdot l \quad [H] \tag{2}$$

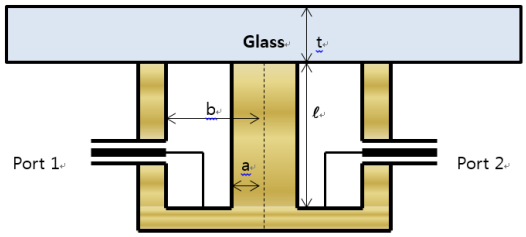


그림 1. 물방울 감지 센서에 사용된 제안한 동축 공동 공진기 구조
Fig. 1. The proposed coaxial cavity resonator structure used for the water sensor

여기서 이와 같은 두식을 이용하면 공진기의 공진주파수를 알 수 있다. 그러나 공진기의 공진주파수는 내부도체 a와 외부도체 내경 b에 관계없이 공진기의 길이 l에 의해서 공진 주파수가 결정된다는 것을 알 수 있다.

Y. M. Lee[11]의 논문에서는 경험적 설계와 실험을 통해서 얻은 공진주파수를 알 수 있다. 따라서 이와 같은 경험적 설계를 이용하면,

$$f_r = \begin{cases} \dfrac{c}{2\pi l} & (l \le 10mm), \ (b/a \approx 3) \\ \dfrac{c}{2\pi l} + f_c & (l > 10mm) \end{cases} \tag{3}$$

식 (3)과 같은 식을 얻을 수 있다. 여기서 공진기는 a와 b의 비율이 3이고, 길이가 10mm이하이면, 동일한 공진주파수를 얻고, 10mm이상이면 0.5GHz의 보정 값을 보상하여 공진주파수를 얻을 수 있다. 따라서 이와 같은 식을 이용하여 동축 공동 공진기의 설계 방식에 따라 물방울 감지 센서를 설계하였다.

외부도체의 반경은 14mm, 급전선의 길이는 9mm, 내부도체의 반경은 5mm, 공진기의 높이는 10mm로 설계하였다. 이때, 공진기의 열린 면에 위치하는 유리의 두께를 변화시켜 가면서 물방울의 양을 변화시켜 가면서 실험을 한다.

그림 2, 그림 3에서 알 수 있듯이 급전선의 길이가 내부 도체에 가까워질수록 삽입 손실이 적어지는 것을 알 수 있다. 즉 결합력이 강해지면서 입력된 신호에 대한 손실이 적어지는 것을 알 수 있다.

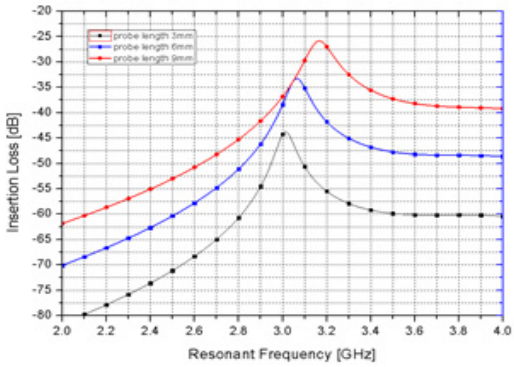


그림 2. 유리 두께가 5mm일 때, 급전선 길이 변화에 따른 삽입 손실
Fig. 2. Insertion loss on the size of the feed line, when the thickness of the glass is 5mm

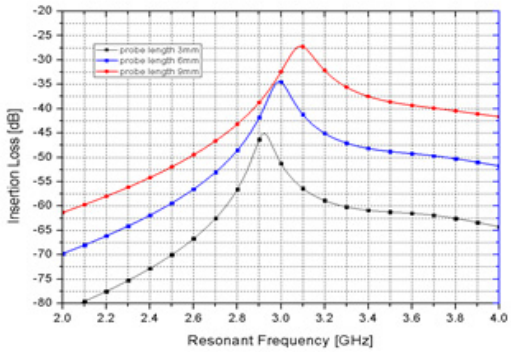


그림 3. 유리 두께가 6mm일 때, 급전선 길이 변화에 따른 삽입 손실
Fig. 3. Insertion loss on the size of the feed line, when the thickness of the glass is 6mm

이때 유리 두께가 5mm에서 6mm로 변할 때 공진 주파수가 80MHz 정도 밑으로 이동하여 급전선의 길이가 길어질수록 이 차이점이 점점 줄어드는 것을 시뮬레이션 결과로부터 알 수 있다.

본 논문에서는 이와 같이 제안된 동축 공동 공진기의 특성을 이용하여 레인센서 시스템을 설계하고 제작하여 레인 센서의 기능을 구현하고자 한다.

## Ⅲ. 레인센서 시스템 설계

그림 4는 설계하고자 하는 동축 공동 공진기를 이용한 레인센서 시스템의 전체적인 블록도이다. 전압제어 발진기(VCO), RF 스위치, 동축 공동 공진기, RF 감지기, MCU, DAC 등으로 이루어져 있으며, VCO에서 RF 스위치를 거쳐 동축 공동 공진기까지의 연결은 50Ω의 RF 케이블과 SMA 커넥터로 연결되며, 동축 공동 공진기에서 RF 스위치 및 RF 감지기까지의 연결도 SMA 커넥터와 50Ω의 RF 케이블로 연결된다.

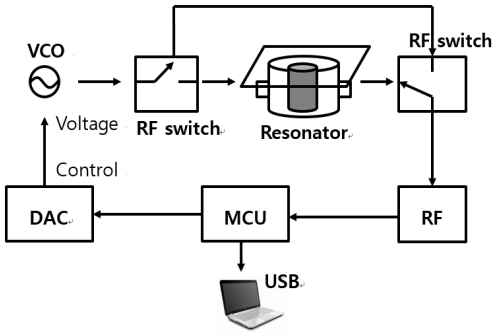


그림 4. 레인센서 시스템 블럭도
Fig. 4. Block diagram of rain sensor system

MCU 등이 설계되고 구현된 디지털 제어부 및 RF 회로의 PCB는 비유전율이 4.7인 FR4로 설계 되며, 물방울이 없는 동축 공동 공진기의 공진 주파수는 2.9GHz에서 3.2GHz사이가 되도록 설계하고, 동작 전압은 직류 24V 입력에서 동작하도록 설계하며, 일반적인 상황에서는 12V에서도 동작하도록 설계한다.

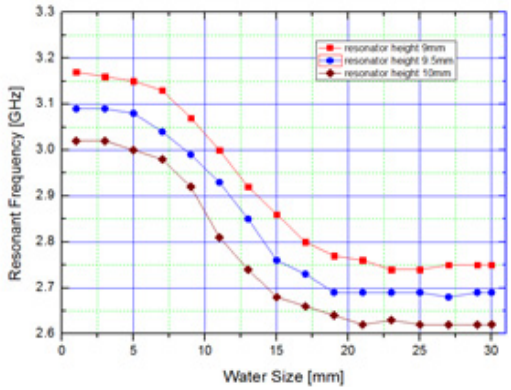


그림 5. 유리 두께가 6mm일 때 물방울 크기에 따른 공진 주파수 변화 그래프
Fig. 5. Resonant frequency on the water size, when the thickness of the glass is 6mm

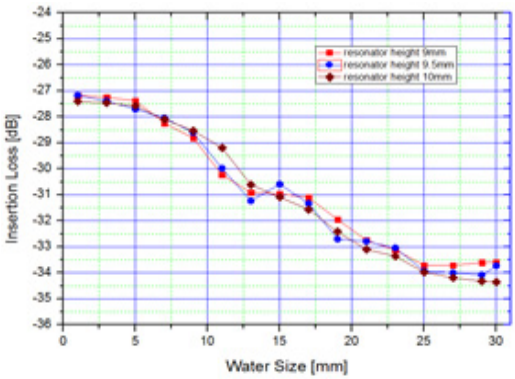


그림 6. 유리 두께가 6mm일 때 물방울 크기에 따른 삽입 손실 변화 그래프

Fig. 6. Insertion loss on the water size, when the thickness of the glass is 6mm

그림 5, 6은 동축 공동 공진기에 물방울의 양을 증가시키면서 공진주파수의 변화와 삽입 손실의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 물방울의 양에 따라 공진 주파수의 변화가 물방울의 양에 따라 비교적 선형적으로 변화 하는 것을 볼 수 있다. 따라서 레인 센서 시스템에 공진 주파수의 변화를 이용하여 파라메터로 정하여 레인 센서 실험을 한다. 센서 회로에 사용할 VCO는 Crystek Microwave사에서 제작된 CVC055BE -2560-3200 모델을 사용하였으며, 발진 주파수는 2.45GHz에서 3.88GHz까지 출력함으로써 사용하고자 하는 주파수 영역을 모두 포함한다. 이때 그림 7은 VCO 제어 입력 전압은 0V에서 18V까지 연속적으로 증가하면서 제어한다.

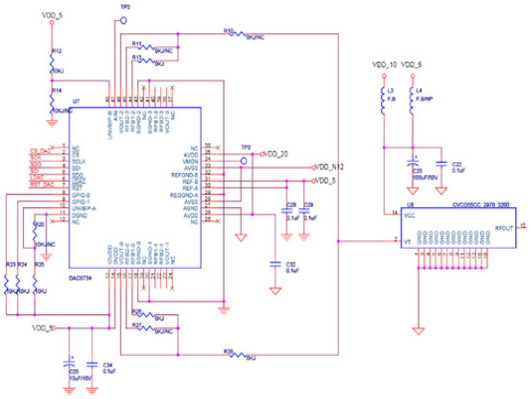

그림 7. 전압 제어 발진기(VCO) 회로

Fig. 7. The circuit of voltage controlled oscillator (VCO)

## Ⅳ. 센서제작 및 측정

제작된 동축 공동 공진기를 이용한 물방울 감지 센서를 측정하기 위해서 네트워크 분석기에 연결하여 주파수 특성을 실험한다.

이때 네트워크 분석기는 Agilent Technologies사의 E5071C 모델을 사용하였다. 제작된 동축 공동 공진기가 설계된 주파수 대역인 2.5GHz에서 3.2GHz내에서 동작하는 지를 테스트 하고, 동축 공동 공진기의 파라미터를 변화시키면서 공진기 특성을 측정하였다.

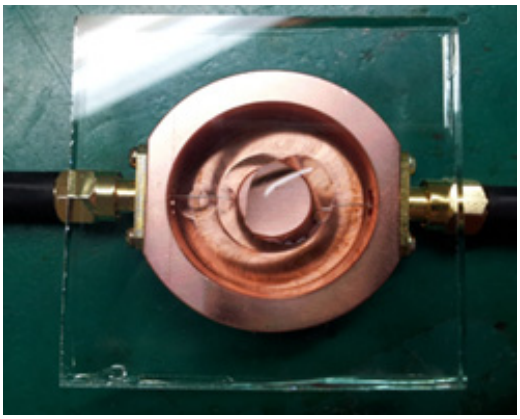

그림 8. 10mm 높이로 제작된 동축 공동 공진기 사진

Fig. 8. Manufactured coaxial cavity resonator with 10mm height

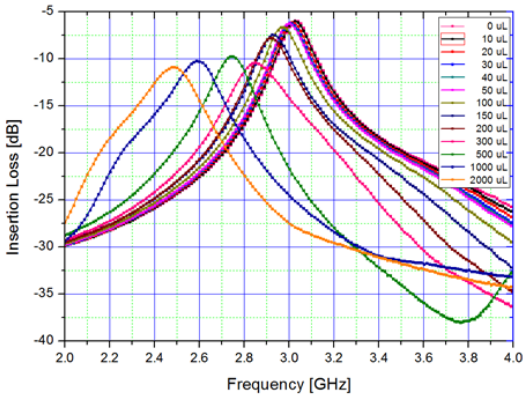


그림 9. 유리 두께 5mm, 공진기의 높이가 10mm인 동축 공동 공진기에 물방울의 양을 늘렸을 때 공진 주파수 측정값

Fig. 9. Measured resonant frequency when increasing the water drop on the manufactured coaxial cavity resonator of 5mm glass thickness and 10mm resonator height

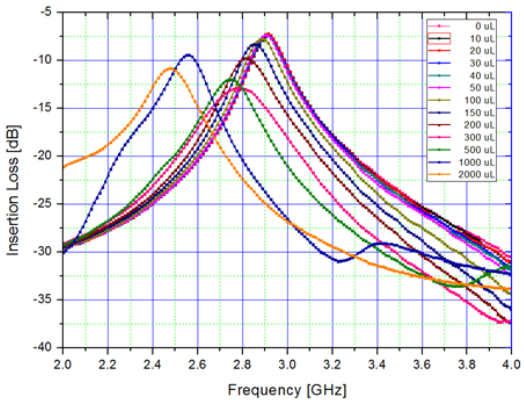


**그림 10. 유리 두께 6mm, 공진기의 높이가 10mm인 동축 공동 공진기에 물방울의 양을 늘렸을 때 공진 주파수 측정값**

Fig. 10. Measured resonant frequency when increasing the water drop on the manufactured coaxial cavity resonator of 6mm glass thickness and 10mm resonator height

그림 8은 실제 제작된 동축 공동 공진기의 사진이다. 그림에서와 같이 열린 면에 유리를 놓고 그 위에 물방울을 떨어뜨려 물방울을 감지한다. 그림 9, 10는 설계된 공진기 유리 윗면에 물방울의 양을 변화시켜가면서 측정한 공진주파수 측정 사진이다. 그림에서와 같이 물방울의 양이 증가할수록 공진주파수가 하한 주파수 대역으로 이동하면서 변화하는 것을 볼 수 있다.

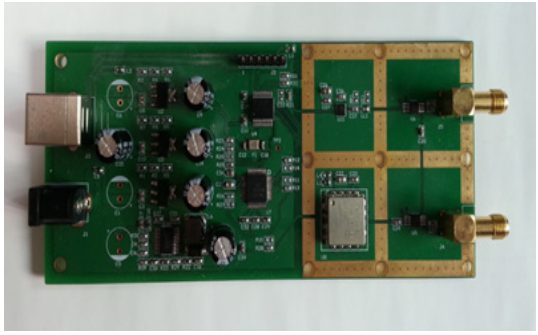

**그림 11. 제작된 센서 회로 사진**

Fig. 11. Photograph of the manufactured sensor circuit

그림 11은 제작된 센서 회로의 사진이다. VCO에서 전압을 일정하게 바꿔가면서 2.5GHz에서 3.2GHz 주파수를 발생시켜 센서 회로에 적용하여 제안된 센서 구조에서 물방울을 감지하는 센서를 구현한다. 측정 결과 그림 12, 13에 나타난 결과와 같이 물의 양이 변화함에 따라서 공진 주파수가 변화 것을 확인 할 수 있다.

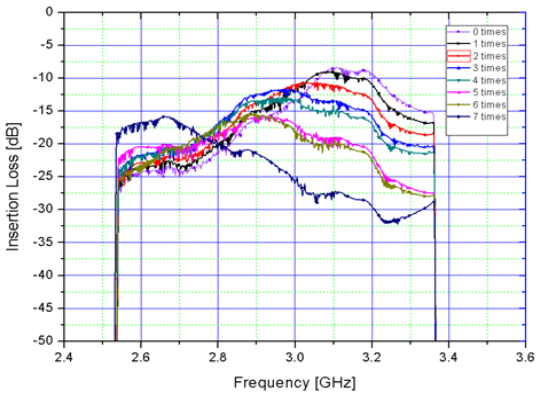


**그림 12. 공진기 높이 10mm, 유리 두께 5mm인 센서에 스프레이로 물을 불규칙적으로 뿌릴 때, 공진 주파수 측정값**

Fig. 12. Measured resonant frequency when spraying the water irregularly on the manufactured sensor of 5mm glass thickness and 10mm resonator height

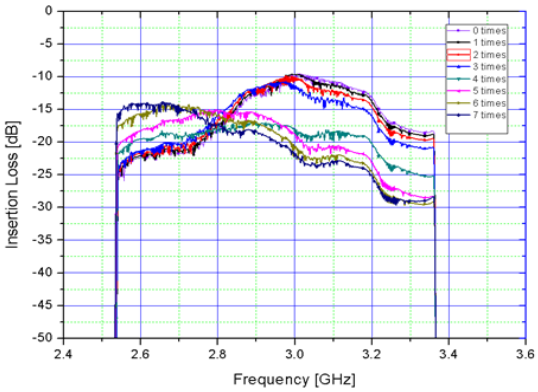


**그림 13. 공진기 높이 10mm, 유리 두께 6mm인 센서에 스프레이로 물을 불규칙적으로 뿌릴 때, 공진 주파수 측정값**

Fig. 13. Measured resonant frequency when spraying the water irregularly on the manufactured sensor of 6mm glass thickness and 10mm resonator height

## V. 결 론

본 논문에서는 동축 공동 공진기의 공진 주파수 특성을 이용하여 물방울의 유무와 물방울의 양을 감지할 수

있는 센서를 설계하고 제작하는 과정에 대하여 기술 하였다. 제안된 동축 공진기의 유리 위에 물방울을 떨어뜨리면서 증가시킬 때, 공진 주파수가 한 방향으로 이동하는 특성을 이용하여 센서를 설계하였다. Ansoft사의 HFSS를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였으며, 제안된 동축 공동 공진기와 센서 회로를 제작하여 물방울의 양을 변화시켜가면서 공진주파수 변화를 측정하였다. 유리의 두께가 5mm, 6mm일 경우 공진 주파수가 2.5GHz에서 3.2GHz의 동작 주파수 영역에서 적합한 물방울 감지 특성을 보이는 것을 확인하였다. 따라서 제안한 레인 센서는 공진주파수가 변하는 특성을 이용하여 물방울의 양을 선형적으로 감지할 수 있는 센서로서 적합함을 알 수 있었다. 향후 추가적인 연구 개발을 통해 제안된 구조를 수량 측정용 센서, 액체의 재질이나 상태 측정, 당도 측정, 혈당 측정 등과 같은 다양한 분야에 적용할 수 있도록 응용 분야를 넓힐 계획이다.

## References


[1] Casaleggio Associati, "The Evolution of Internet of Things", 2011

[2] Bogdan A. Galwas, Jerzy K. Piotrowski, Member, IEEE, and Jerzy Skulski, "Dielectric Measurements Using a Coaxial Resonator Opened to a Waveguide Below Cut-Off" IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, vol. 46, no. 2, pp. 511-514, Apr. 1997.

[3] Shigeru Nakayama, "Development of a microwave moisture sensor for aggregates" Meas. Sci. Technol., vol. 6, no. 7, pp. 429-431, Jul. 1995.

[4] G. Muller, "Windshield wiper system with rain detector" United States Patent, 5015931, May 1991.

[5] Y. Netzer "Sealed capacitive rain sensor" United States Patent, US2008/0265913 A1, Oct.30, 2008.

[6] N. Bendicks, "Moisture sensor"United States Patent, 5323637, June 1994.

[7] G. Gajda and S. Stuchly, "An equivalent circuit of open ended coaxial line", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM-32, pp. 506-508, Dec. 1983.

[8] Y. M. Lee, J. K. Kim, and J. Hur, "Study on the Empirical Design of Open-ended Coaxial Cavity Resonator", Microwave and Optical Technology Letters, vol. 56, no. 3, pp. 606-610, March 2014.

[9] D. K. Cheng, Field and Wave Electromagnetic, Addison Wesley, 1961.

[10] D. M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley and Sons, 3nd Ed., New York: John Wiley & Sons Inc., 1998.

[11] Y. M. Lee, J. K. Kim, and J. Hur, "A Study on the Detection of the Rain Using Open-Ended Coaxial Cavity Resonator", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, vol. 24, no. 9, pp. 944-950, Sep. 2013.


## 저자 소개


**이 윤 민(정회원)**

• 2008년 : 건국대학교 정보통신대학원 전자 및 정보통신 공학과 (공학석사)
• 2014년 : 건국대학교 전자 및 정보통신 공학과 (공학박사)
• 2016년 3월 ~ 현재 : 경민대학교 정보통신과 조교수

<주관심분야 : RF, 안테나 설계, 마이크로파 회로 등>

**김 진 국(정회원)**

• 1999년 : 건국대학교 전자 및 정보통신공학과 (공학석사)
• 2015년 : 건국대학교 전자 및 정보통신공학과 (공학박사)
• 2010년 5월 ~ 현재 ㈜케이뉴 대표이사

<주관심부야 : RF, 유전체 공진기, 마이크로파 필터, 안테나, 이동통신시스템 등>