

원통형 공진기를 이용한 마이크로파 대역에서 그을음의 도전율 측정

*김재희, 박위상
포항공과대학교 전자전기공학과
e-mail : *jaehee@postech.ac.kr, wsp@postech.ac.kr*

Conductivity Measurement of Soot at Microwave Frequency Using a Cylindrical Cavity

*Jae Hee Kim, Wee Sang Park
Department of Electric and Electrical Engineering, POSTECH

Abstract

A conductivity of soot at microwave frequency is presented using a novel technique for complex permittivity of materials. The method overcomes limitations of conventional methods which are cavity perturbation and transmission/reflection method. Resonant frequencies and Q factors are measured and simulated for the cylindrical cavity, and they are compared to each other. Similar material property of both real material and simulation material produce similar values of resonant frequency and Q factor. The complex permittivity of material can be determined by simulating the cavity to change material property until the simulation results are nearly the same as the measurement results. Cylindrical cavity has been realized for measurement at 880 MHz, and conductivity of soot is measured. A sample was made by depositing the soot on the glass. The proposed method shows that the conductivity of soot is 11 S/m.

I. 서론

디젤연료가 연소하게 되면 그을음을 만들어내게 되고, 이는 대기오염을 유발할 뿐만 아니라 불완전 연소를 만들어 내기 때문에 에너지 효율을 줄이게 된다. 따라서 이러한 그을음을 없애는 기술이 필요하며, 대표적인 기술로 그을음을 가열하여 깨끗이 만드는 방법이 있다. 최근에는 그을음을 가열하는 방식으로 마이

크로파를 이용하는 방법이 많이 연구되고 있다. 이를 위해서는 마이크로파 대역에서 그을음의 복소유전율 정보를 정확히 알 필요가 있다[1]. 마이크로파 대역에서 복소유전율 측정에 일반적으로 많이 사용되는 방법은 반사/투과 방법과 공진기를 이용한 측정법이 있다 [2]. 그러나 반사/투과 방법은 정확한 가공이 필요한 단점을 가지고 있고, 공진기를 이용한 방법은 시료가 손실이 크면 측정이 힘든 단점이 있다. 그을음의 경우 손실을 많이 가지고 있으며 시료의 가공이 힘들기 때문에 새로운 복소유전율 측정기법이 필요하다. 본 논문에서는 그을음의 복소 유전율 측정을 위하여 cylindrical cavity를 사용하여 공진주파수와 Q factor를 측정하고 시물레이션을 통하여 이 값을 비교함으로써 시료의 특성을 얻는 방법을 제안한다.

II. 공진기 구조 및 여기모드

그을음의 도전율을 측정하기 위하여 원통형 공진기를 사용하였다. 원통형 공진기의 TM_{010} 모드를 사용하였고, 전계가 원통형 공진기의 중심에서 가장 강하게 형성이 되며 원통형 공진기 둘레로 갈수록 0이 된다. 또한 TM_{010} 모드는 높이의 영향을 받지 않기 때문에 작은 시료를 넣을 수 있다. 시료의 위치는 전계와의 불연속을 없애기 위하여 그림 1에 보는 바와 같이 원통형 공진기에 홀을 뚫어 샘플을 넣도록 하였다. TM_{010} 모드를 여기 시키기 위해서 전계와 동일한 방향으로 모노폴 안테나 형태의 포트를 사용하였다. 900 MHz 대역에서의 얇은 재질의 복소유전율의 특성을 측정하기 위해 반경 a 를 135 mm로 결정하였고, 높이

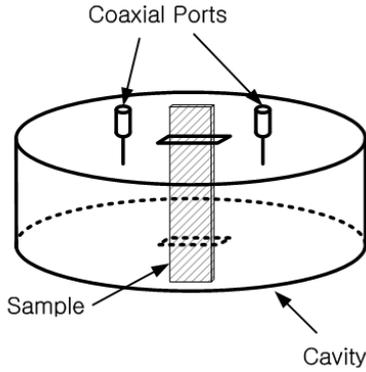


그림 1. 원통형 공진기 구조와 시료위치

d는 시료가 들어갈 만한 적절한 크기인 30 mm로 정하였다. 시료를 넣기 위한 원통형 공진기의 구멍은 가로 20 mm 세로 2 mm 로 하였으며 원통형 공진기 윗면과 아래 면에 뚫었다.

III. 측정방법 및 결과

측정방법은 원통형 공진기를 이용한 공진주파수와 Q factor의 측정하고 사용 소프트웨어를 사용하여 시뮬레이션을 결과를 측정결과와 비교함으로써 이루어진다. 공진기 내부에 시료를 넣게 되면 공진주파수가 변화하게 되고 공진기의 Q factor 가 낮아지게 된다. 원통형 공진기에 시료를 넣지 않고 공진주파수와 Q factor 를 측정한다. 그리고 측정하고자 하는 시료를 공진기 내부에 넣은 후 공진주파수와 Q factor를 측정한다. 시료가 손실이 많게 되면 공진주파수와 변화와 Q factor 의 변화만으로는 수식적으로 재질의 특성을 유추해 내는 것이 불가능하기 때문에 상용 소프트웨어를 사용하여, 실제 측정과 동일한 환경을 만들어 재질의 특성을 찾아낸다. 측정과 동일한 환경을 시뮬레이션에 입력하고 재료가 들어있지 않는 공진기를 시뮬레이션하여 공진주파수와 Q factor의 값을 구하고, 시뮬레이션 상에 시료를 넣은 후 공진주파수와 Q factor를 관측한다. 이때, 측정된 값이 나오도록 재질의 특성을 바꾸어 가며 시뮬레이션 한다. 이때 측정과 동일한 값이 나오면 이를 재질의 특성으로 받아들인다.

제안한 방법을 사용하여 soot 에 대해서 도전율을 측정해 보았다. Soot를 정해진 크기에 만들기 위하여 유리에 양초를 이용하여 그을렸다. 유리의 크기는 가로 12.18 mm 이며 세로는 50 mm 두께는 0.15 mm 이다. 공진주파수 및 Q factor에 영향을 미치는 부분은 공진기 내부에 들어가는 부분이며 공진기 내부의 높이가 30 mm 이므로 시료의 세로 50 mm 중 30 mm의 부분이 영향을 미치게 된다. 유리 위에 그을음을 1.71

표 1. 공진주파수, Q factor의 측정치와 시뮬레이션

상태	구성	측정값	시뮬레이션값
빈공진기	공진주파수	881.3500	879.20
	Q factor	2669	2253
유리+공진기	공진주파수	881.0375	879.13
	Q factor	2617.5	2092
유리+그을음 +공진기	공진주파수	880.9625	878.98
	Q factor	571.6	559.8

* 시뮬레이션 : 그을음 도전율 11 S/m 가정

mg 입혔다 입혀진 soot의 두께는 7 um 이다. 유리의 유전율 정보는 측정결과 유전율 6.5, tanδ 0.0089였다. 원통형 공진기를 이용하여 공진주파수와 Q factor를 시료가 든 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 측정결과 및 시뮬레이션 결과를 표 1에 간단히 요약하였다. 공진주파수의 변화는 주로 유리에 의해 발생했으며, Q factor의 변화는 soot에 의해 발생했음을 알 수 있다. Q factor의 값이 soot가 첨가됨에 따라 급격히 감소하였으므로 soot가 손실을 많이 유발함을 알 수 있고, 일반적인 유전체 보다는 높은 도전율을 가지는 것을 알 수 있다. Soot는 880 MHz에서 도전율이 11 S/m인 물질로 간주할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 마이크로파 영역에서 손실이 강한 얇은 물질의 복소유전율을 측정하는 방법을 제안하였고, soot에 대해서 도전율을 측정하였다. 원통형 공진기와 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 공진주파수와 Q factor를 측정함으로써 측정값과 시뮬레이션 값을 비교하여 복소 유전율값을 얻는 방법을 제안하였다. 본 방법을 사용하여 얇고 손실이 심한 시료에 대해서 복소유전율 값을 측정할 수 있다. Soot의 복소유전율 값을 측정하기 위하여 얇은 유리를 그을려 시료를 만들었으며, 제안한 방법을 사용하여 도전율이 11 s/m임을 도출하였다.

참고문헌

[1] R. P. Michel, R Baican, and E. Schubert, "Soot particle properties in the microwave range", European Microwave Conference, 23rd, pp. 959-960, 1993

[2] Jerzy Krupka, "Frequency domain complex permittivity measurements at microwave frequencies", Meas. Sci. Technol. 17, R55-R70, 2006