

영동산 일라이트의 전자기적 특성 측정

A Measurement of Electromagnetic Property of Illite found in Young-dong Area

°김진철·이원희·구경완·허정

(°Jin Chul Kim·Won-Hui Lee·K.W.Koo·Jung Hur)

Abstract

This paper describes measurement of relative permittivity of illite found in young-dong area. A measurement of relative permittivity of illite used to cylindrical cavity resonators with moveable cap. A concentric dielectric-rod inserted cylindrical cavity resonator and an exact field representation of travelling wave mode are introduced for measurement of relative permittivity. The exact electromagnetic fields in cylindrical cavity with concentric dielectric rod is analysed. A relative permittivity of dielectric in cavity is calculated by analyzing the characteristic equation. The characteristic equation is solved by using the ContourPlot graph of Mathematica. We know that the field representation of travelling mode is exact. As a result, relative permittivity of dielectric materials were 7.820 at sample-1 and 7.894 at sample-2.

Key Words(중요용어) : relative permittivity, cavity resonator, illite, travelling mode, ContourPlot graph

1. 서 론

미국 일리노이주 지방에서 산출되는 퇴적암층에 있는 미세한 점토 모양의 운모에 일라이트(illite)라는 이름이 처음으로 붙여졌다. 일라이트는 캐나다 퀘벡주, 미국 일리노이주, 펜실베이니아주, 중국 사천성, 호주 등에 다소 분포하고 있다. 한국에서는 충북 영동 지역에서 광맥 형태로 분포하고 있어, 관심이 집중되고 있다. 일라이트는 그 자체에서 음이온을 발생하고, 인체에 유익한 원적외선을 방사하며, 모든 약취의 흡착 탈취력을 발휘하는 등 다양한 기능성을

갖고 있음이 밝혀지고 있다^[1]. 따라서 의약, 농업, 축산업, 수산업, 환경, 양식업, 건축, 섬유, 제지, 공업, 건강식품, 화장품 등 일상의 모든 분야에서 이용될 전망이다. 본 논문에서는 이러한 일라이트의 전자기적 특성을 살펴보기 위해 영동산 일라이트를 이용하여 시료(sample)를 만들어 성형성을 평가하고, 윗면 조정이 가능한 원통형 공동 공진기를 이용하여 유전율을 측정하여 보았다. 윗면 조정이 가능한 원통형 공진기의 경우 어떠한 유전체도 공진기의 크기에만 맞다면 비유전율을 측정할 수 있다. 비유전율을 측정하기 앞서, 공진기 내부의 정확한 전자계 표현을 이해하는 것이 중요하다^{[2]-[5]}. 공진기 내부의 전자계 표현으로 구한 공진주파수를 이론 값으로, 실험을 통한 공진주파수 값을 측정 값으로 하여 두 값을 비교한다. 공진기의 정확한 전자계 표현을 구하기 위해 유전체 바깥쪽에 반지름 방향의 전자계 변화가 진행하면서 정재파 표현을 갖는 것을 가정하는 진행

* 영동대학교 정보전자공학부
** 건국대학교 전자·정보통신공학과
(영동군 영동읍 설계리 산 12-1 영동대학교,
서울시 광진구 화양동 1번지 건국대학교
Fax : 02-3437-5235
E-mail : blue@kkucc.konkuk.ac.kr)

파 모드 표현을 이용한다. 공진주파수 비교를 통해 영동산 일라이트의 비유전율을 정확히 측정하고자 한다.

2. 일라이트의 성형

일라이트 원료 분말의 화학적 조성은 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO , MnO , CaO , Na_2O , K_2O 등으로 이루어져 있다. 따라서 전자기적 특성 또한 화학적 조성의 종합적인 결과로 나타날 것으로 예상할 수 있다. 전자기적 특성을 측정하기 위해 일라이트 원료 분말을 원통형 공동 공진기에 삽입할 수 있도록 봉형태로 성형을 하였다. 일라이트 원료 분말을 950°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C에서 각각 3시간 동안 열처리를 하였는데, 950°C, 1050°C에서는 소결이 이루어지지 않았고, 1100°C에서는 어느 정도 소결이 되었지만 불안정하여, 1150°C로 다시 열처리하여 완전한 소결 상태를 만들었다. 시료는 바인더(교결제)가 들어있는 상태와 없는 상태로 각각 소결하였다. 그림 1은 열처리 공정 과정을 보여준다. 그림 2는 제작된 시료이다.

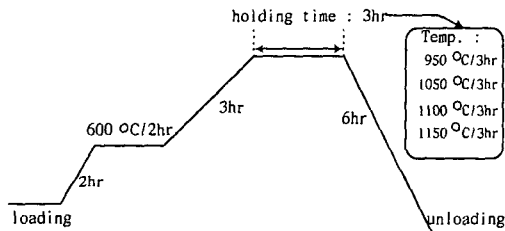


그림 1. 열처리 공정

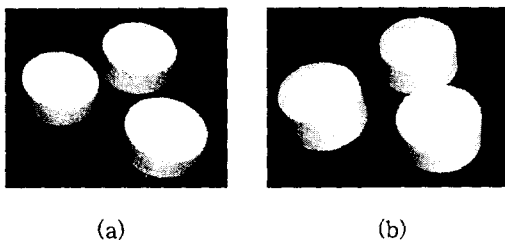


그림 2. 제작된 시료 (a) 시료-1(바인더가 들어있는 시료) (b) 시료-2(바인더가 없는 시료)

3. 비유전율 측정 방법

유전체와 공진기의 크기는 계산 값에 중요한 인자가 되므로, 정밀한 측정이 필요하다. 유전체 시료를 윗면 조정이 가능한 원통형 공동 공진기에 삽입하

고, 공진기의 윗부분을 유전체 윗면에 닿도록 조정한다. 유전체 봉이 삽입된 형태는 그림 3과 같다. 300MHz에서 20GHz의 주파수에서 측정하여 도미넌트 모드(mode of the lowest resonant frequency)를 찾는다. 유전율 측정에 주요한 점은 도미넌트 모드(dominant mode)를 찾아 측정의 범위를 줄이는데 있다. HP8510C 네트워크 분석기에서 S파라미터를 추출하여 공진주파수 데이터를 정리하고, 도미넌트 모드를 찾는다.

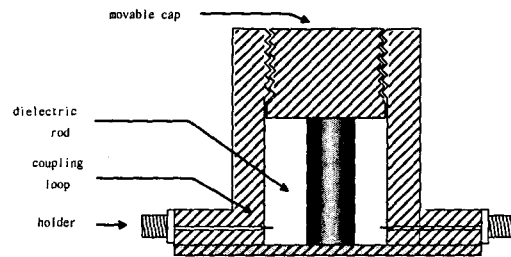


그림 3. 윗면 조정이 가능한 원통형 공진기의 단면

실험에서 공진주파수를 측정하였으면, 이론적인 공진주파수 데이터가 필요하다. 이론적인 공진주파수 데이터를 계산하기 위해 진행 모드 표현의 전자계 표현으로 초월함수를 유도한다. 초월함수를 Mathematica의 컨투워(contour) 그래프 기능을 이용하여 공진주파수 계산 값을 구한다. 진행 모드 표현으로 구한 공진주파수 계산 값은 이미 여러 실험을 통해 정확성이 입증되었다. 공진주파수를 계산할 때 유전율을 임의로 5~15까지 넣어 각 모드별 공진주파수를 계산하고, 도미넌트 모드를 찾는다. 본 논문에 사용한 일라이트는 SiO_2 , Al_2O_3 등의 복합 화합물로서 비교적 낮은 유전율을 갖기 때문에 5~15의 유전율을 넣어서 계산하였지만, 유전체가 정확히 무엇인지 알지 못한다면, 더 광범위하게 1~100 정도까지의 유전율을 넣어 계산해 보아야 할 것이다.

이렇게 계산한 도미넌트 모드와 실험에서 측정된 도미넌트 모드를 비교하여 가장 이론 값이 실험 값에 근접하는 공진주파수가 무엇인지 찾는다. 근사적인 공진주파수를 알아내었으면, 다시 비유전율을 세로축, 공진주파수를 가로축으로 하는 컨투워 그래프를 그리고, 실험의 공진주파수 측정 값을 대입하여 정확한 비유전율을 측정한다.

4. 실험 및 측정 결과

실험에 사용한 유전체 시료는 두 가지이다. 시료

-1은 바인더가 들어있는 유전체 봉으로써 지름이 14.37mm, 높이는 6.08mm이다. 시료-2는 바인더가 없는 유전체 봉으로써 지름이 14.46mm, 높이가 8.17mm이다. 두 유전체는 일라이트로써 SiO₂, Al₂O₃ 등의 복합 화합물이다. 화학적 조성 물질 각각의 유전율을 보고 판단해 보면 5~15의 유전율을 가질 것이라 예상할 수 있다. 그러나, 직접적인 재료의 정확한 비유전율은 알지 못하는 상태이다. 측정에 사용된 원통형 공동 공진기는 지름이 15mm, 높이를 조정할 수 있는 것으로써, 가능한 최대 높이는 15mm이다. 실험에서 여기 방법을 고리 모양으로 함으로써 TE 모드를 여기 시킨다. 공진주파수 측정 결과는 그림 4와 그림 5이다. 그림 4는 시료-1의 경우 측정 결과이고, 그림 5는 시료-2의 측정 결과이다. 300MHz에서 8GHz 사이의 공진주파수는 신호가 나타나지 않았으므로, 8GHz에서 20GHz 사이의 데이터만을 나타내었다. 유전체 표면의 거칠기도 깨끗하지 못하였고, 위크 커플링(weak coupling)으로 여기 하였으므로, S21 출력이 높지 못하다.

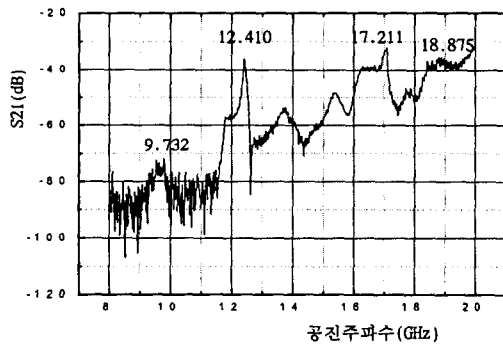


그림 4. 시료-1의 공진주파수 측정결과

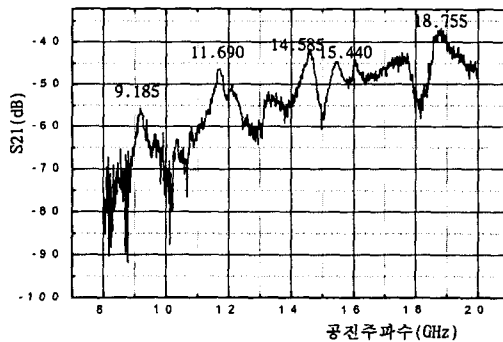


그림 5. 시료-2의 공진주파수 측정결과

5. 공진주파수 계산

진행 모드 표현의 전자계 표현으로 초월함수를 유도한다. 진행 모드 표현은 공진주파수 계산에 가장 정확한 표현이라는 것이 여러 실험을 통해 입증되었다. 초월함수를 Mathematica의 컨투워 그래프 기능을 이용하여 공진주파수 계산 값을 구한다. 계산 결과는 표 1과 표 2에 나타내었다. 측정했던 공진주파수인 8GHz에서 20GHz사이의 값을 벗어난 것은 제외 시켰고, 고리 모양으로 여기 시켰기 때문에 TE 모드만을 고려하였다.

표 1. 시료-1의 경우 최저차 모드 구분

유전율	모드별 공진주파수 계산 값
7 일 때	TE ₀₁₁ =13.090GHz, TE ₁₁₁ =10.282GHz, TE ₂₁₁ =11.620GHz
8 일 때	TE ₀₁₁ =12.262GHz, TE ₁₁₁ =9.619GHz, TE ₂₁₁ =10.872GHz
9 일 때	TE ₀₁₁ =10.872GHz

표 2. 시료-2의 경우 최저차 모드 구분

유전율	모드별 공진주파수 계산 값
7 일 때	TE ₀₁₁ =11.542GHz, TE ₀₁₂ =16.660GHz, TE ₂₁₁ =9.749GHz
8 일 때	TE ₀₁₁ =10.795GHz, TE ₁₁₁ =7.650GHz, TE ₂₁₁ =9.125GHz
9 일 때	TE ₀₁₁ =10.178GHz, TE ₁₁₁ =7.209GHz, TE ₂₁₁ =8.608GHz
10 일 때	TE ₀₁₁ =9.656GHz
11 일 때	TE ₀₁₁ =9.027GHz
12 일 때	TE ₀₁₁ =8.815GHz

표 1과 표 2의 계산 값을 실험 값과 비교해보면 시료-1의 경우 최저차 모드는 TE₁₁₁ 모드이다. 그러나, 실험 값에서는 TE₁₁₁모드라고 생각되는 9GHz대의 신호는 잘 보이지 않고 거의 잡음에 가깝다. 따라서, 그 다음으로 출력이 높은 TE₀₁₁모드를 이용하였다. 측정된 두 번째 저차 모드와 가장 근접한 계산 값을 갖는 것은 유전율 8일 때이므로, 두 번째 저차 모드를 TE₀₁₁ 모드라고 가정을 하고, TE₀₁₁모드에서 컨투워 그래프를 그려서 정확한 비유전율을 알

아낸다. 측정 결과 시료-1에서는 7.820의 유전율을 측정하였다. 시료-2의 경우 역시 최저차 모드는 TE₁₁₁ 모드이다. 그러나, 실험 값에서는 TE₁₁₁모드라고 생각되는 7GHz대의 신호는 잘 보이지 않는다. 따라서, 이번 역시 그 다음으로 출력이 높은 TE₂₁₁모드를 이용하였다. 측정된 저차 모드와 가장 근접한 계산 값을 갖는 것은 유전율 8일 때이므로, 저차 모드를 TE₂₁₁ 모드라고 가정을 하고, TE₂₁₁모드에서 컷투위 그래프를 그려서 정확한 비유전율을 알아낸다. 측정된 비유전율은 시료-2에서 7.894이다. 본 실험에 사용한 유전체는 일라이트로써 SiO₂, Al₂O₃ 등의 복합 화합물이다. 화학적 조성 물질 각각의 유전율을 보고 판단해 보면 5~15의 유전율을 가질 것이라 예상할 수 있다. 시료-1에서는 7.820의 유전율을 측정하였고, 시료-2에서는 7.894가 측정되었다. 본 논문에서는 진행 모드 표현의 정확한 전자계 표현을 이용하였기 때문에 정확한 비유전율 측정을 했다고 사료된다. 이렇게 측정된 비유전율의 정확성을 판별하기 위해 다음절에서는 시료-1의 측정된 비유전율을 진행 모드 표현의 전자계 식에 대입하여, 모드 별 공진주파수를 계산하고, 실험 값과 비교한다.

6. 비유전율 측정의 정확성 판별

측정한 시료-1의 비유전율을 대입하고 모드 별 공진주파수를 계산하여 실험 값과 비교해 본다. 실험 값과 비교하여 모드 별 공진주파수가 일치한다면 정확한 측정을 한 것이라 생각된다. 표 3은 시료-1에 대한 실험 값과 측정된 비유전율로 계산한 공진주파수를 비교한 것이다.

표 3. 모드별 공진주파수 비교(시료-1)

측정 값 (GHz)	계산에 의한 공진주파수 값 (GHz)	오 차(%)
9.732	9.728(TE ₁₁₁)	0.041
12.410	12.410(TE ₀₁₁)	0.000
17.211	17.320(TE ₂₁₁)	0.629
18.875	18.870(TE ₂₁₂)	0.026

측정한 비유전율을 넣어 계산한 공진주파수와 측정된 공진주파수가 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서, 시료-1에서 측정된 유전율은 정확한 것이라 사료된다.

7. 결 론

유전체의 비유전율을 측정하는 것은 그 동안에는 상당히 까다로운 것으로 알려져 왔다.

본 논문에서는 윗면 조정이 가능한 원통형 공동 공진기를 이용하여 측정을 좀 더 용이하게 하였으며, 진행 모드 표현의 정확한 전자계 표현으로 공진 주파수를 정확히 계산하여 비유전율을 측정하고자 하였다. 본 논문에서 측정했던 유전체는 일라이트로써 SiO₂, Al₂O₃ 등의 복합 화합물이다. 화학적 조성 물질 각각의 유전율을 보고 판단해 보면 5~15의 유전율을 가질 것이라 예상할 수 있다. 시료-1에서는 7.820이 측정되었고, 시료-2에서는 7.894가 측정되었다.

Reference

- [1] H. G. Cho, "Adsorption of Heavy Metals onto the Illite", *International Symposium on Earth & Environmental Science*, pp. 63-75.
- [2] S. B. Cohn, K. C. Kelly, "Microwave Measurement of High-Dielectric-Constant Materials", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-14, No. 9, pp. 406-410, September, 1966.
- [3] M. M. Taheri, D. M. Syahkal, "Computation of Q-factors of dielectric-loaded cylindrical cavity resonators", *IEE Proceedings*, Vol. 137, Pt. H, No. 6, pp. 372-376, December, 1990.
- [4] Y. Kobayashi, M. Katoh, "Microwave Measurement of Dielectric Properties of Low-Loss Materials by the Dielectric Rod Resonator Method", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-33, No. 7, pp. 586-592, July, 1985.
- [5] B. W. Hakki, P. D. Coleman, "A Dielectric Resonator Method of Measuring Inductive Capacities in the Millimeter Range", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-8, pp. 402-410, July, 1960.

감사의 글

「이 연구는 영동대학교 교내 연구비와 산학연 컨소시엄사업의 일부 지원에 의하여 수행되었음」