

영동산 일라이트의 성형 및 비유전율 측정

A Fabrication of Form and a Measurement of Relative Permittivity of Illite Found in Young-dong Area

이원희 · 최홍주 · 구경완* · 허 정

Won-Hui Lee · Hong-Ju Choi · Kyung-Wan Koo* · Jung Hur

요 약

영동산 일라이트의 비유전율 측정에 대해 기술한다. 비유전율을 측정하기 위해 윗면 조정이 가능한 원통형 공동 공진기가 이용되었다. 동심 유전체 봉이 삽입된 원통형 공동 공진기를 이용하는 방법과 non-decaying 모드의 정확한 전자계 표현은 비유전율을 측정하기 위해 소개되었다. 동심 유전체 봉이 삽입된 경우에 정확한 전자계 표현들을 해석하였다. 유전체가 삽입된 공진기를 이용한 비유전율의 계산은 특성방정식의 해석에 의해 계산된다. 특성방정식은 상용 수학 틀인 Mathematica의 ContourPlot 그래프 기능을 이용하여 풀이하였다. Non-decaying 모드 해석법은 근사적인 해석법이 아니라, 정확한 해석법이다. 결과적으로, 바인더가 들어있는 유전체 시료에 대해서는 7.820의 비유전율이 측정되었고, 바인더가 없는 유전체 시료에 대해서는 7.894의 비유전율이 측정되었다.

Abstract

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

I. 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 사천

성, 호주 등에 다소 분포하고 있다. 한국에서는 충북 영동지역에서 광맥 형태로 분포하고 있어, 관심이 집중되고 있다. 일라이트는 그 자체에서 음이온을 발생하고, 인체에 유익한 원적외선을 방사하며, 모든 악취의 흡착 탈취력을 발휘하는 등 다양한 기능성을 갖고 있음이 밝혀지고 있다^[1]. 따라서 의약, 농

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

건국대학교 전자·정보통신공학과(Dept. of Electronics, Information & Communication Eng., Konkuk University)

*영동대학교 정보·전자공학부(Faculty of Information·Electronics Engineering, Youngdong University)

· 논문 번호 : 20010327-037

· 수정완료일자 : 2001년 5월 12일

업, 축산업, 수산업, 환경, 양식업, 건축, 섬유, 제지, 공업, 건강식품, 화장품 등 일상의 모든 분야에서 이용될 전망이다. 본 논문에서는 이러한 일라이트의 비유전율을 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 있는 장점이 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 non-decaying 모드 표현을 이용한다. 공진주파수 비교를 통해 영동산 일라이트의 비유전율을 정확히 측정하고자 한다.

II. 일라이트의 성형

일라이트는 인체에 유익한 원적외선을 방사하며, 모든 약취의 흡착 탈취력을 발휘하는 등 다양한 가능성이 있다. 그림 1은 실제로 일라이트의 유용성을 알아보기 위해 대장균을 배양하고 일라이트 시료를 삽입하여 대장균 감소율을 측정한 것이다. 그림을 보면, 일라이트 삽입후 대장균 수가 80분 정도 후에는 거의 모두 감소한 것을 볼 수 있다. 그림 2는 시간에 따른 대장균 감소율을 나타낸 것이다.

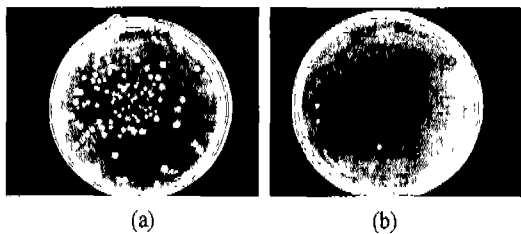


그림 1. 일라이트 삽입 전(a)과 일라이트 삽입 후(b) 대장균의 감소된 모습
Fig. 1. The decrease of a fungus(after inserted illite(b)), before inserted illite(a).

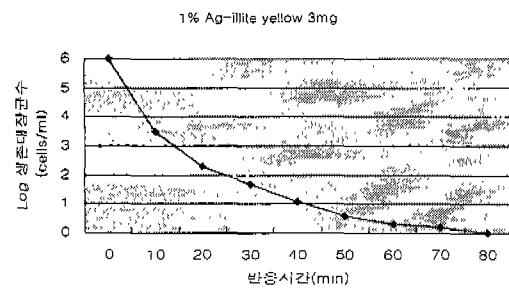


그림 2. 일라이트에 의한 대장균의 감소
Fig. 2. The decrease of a fungus by illite.

표 1. 일라이트 광석의 화학적 분석

Table 1. Chemical analyses of illite ores.

| 화학적 조성 | Major elements(%) | |
|--------------------------------|-------------------|--------|
| | White* | Yellow |
| SiO ₂ | 66.15 | 52.01 |
| Al ₂ O ₃ | 23.00 | 30.53 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.30 | 2.30 |
| TiO ₂ | 0.30 | 0.46 |
| MgO | 0.20 | 0.25 |
| MnO | 0.00 | 0.01 |
| CaO | 0.01 | 0.01 |
| Na ₂ O | 0.07 | 0.43 |
| K ₂ O | 5.92 | 7.26 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.02 |
| O, I | 3.02 | 4.49 |
| Total | 100.00 | 97.76 |

*white illite는 yellow illite에서 철 성분을 제거한 것.

그림 1, 2에서 보는 것처럼 일라이트의 유용성은 상당하다. 그러나, 우리나라에서는 일라이트의 발견이 최근의 일이기 때문에 일라이트를 성형하여 시료를 만들었을 때, 비유전율과 같은 전자기적 특성들을 분석할 필요성이 있다. 일라이트 원료 분말의 화학적 조성은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, MgO, MnO, CaO, Na₂O, K₂O 등으로 이루어져 있다. 따라서 전자기적 특성 또한 화학적 조성의 종합적인 결과로 나타날 것으로 예상할 수 있다. 표 1은 일라이트의 화학적 조성을 나타낸 것이다.

비유전율을 측정하기 위해 일라이트 원료 분말을

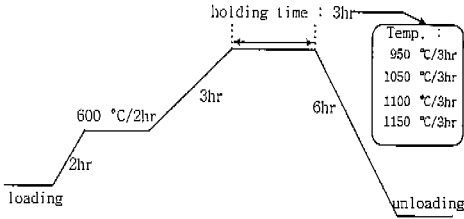


그림 3. 열처리 공정
Fig. 3. Process of heating.

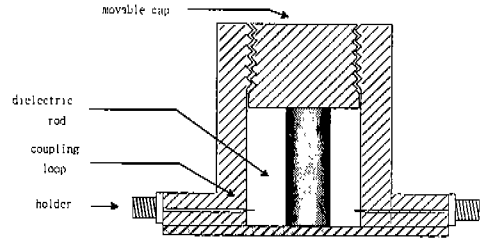


그림 5. 윗면 조정이 가능한 원통형 공진기
Fig. 5. The cylindrical cavity resonator with a moveable cap.

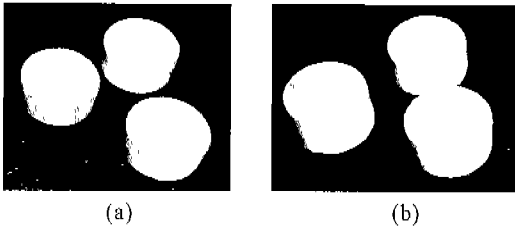


그림 4. 제작된 시료
(a) 시료-1(바인더가 들어있는 시료)
(b) 시료-2(바인더가 없는 시료)

Fig. 4. Fabricated sample.
(a) sample-1(existed binder)
(b) sample-2(without binder).

원통형 공동 공진기에 삽입할 수 있도록 봉형태로 성형을 하였다. 일라이트 원료 분말을 950°C, 1,050°C, 1,100°C, 1,150°C에서 각각 3시간 동안 열처리를 하였는데, 950°C, 1,050°C에서는 소결이 이루어지지 않았고, 1,100°C에서는 어느 정도 소결이 되었지만 불안정하여, 1,150°C로 다시 열처리하여 완전한 소결 상태를 만들었다. 시료는 원재료가 견고하게 소결되도록 바인더(교결제)를 삽입한 상태와 없는 상태로 각각 소결하였다. 그림 3은 열처리 공정 과정을 보여준다. 그림 4는 제작된 시료들이다.

III. 비유전을 측정 방법

유전체와 공진기의 크기는 계산 값에 중요한 인자가 되므로, 정밀한 측정이 필요하다. 유전체 시료를 윗면 조정이 가능한 원통형 공동 공진기에 삽입하고, 공진기의 윗부분을 유전체 윗면에 닿도록 조정한다. 유전체 봉이 삽입된 형태는 그림 5와 같다.

300 MHz에서 20 GHz의 주파수에서 측정하여 도미넌트 모드(dominant mode)를 찾는다. 유전을 측정에 주요한 점은 도미넌트 모드(mode of the lowest resonant frequency)를 찾아 측정의 범위를 줄이는데 있다. HP8510C 네트워크 분석기(network analyser)에서 S파라미터를 측정하여 공진주파수 데이터를 정리하고, 도미넌트 모드를 찾는다.

실험에서 공진주파수를 측정하였으면, 이론적인 공진주파수 데이터가 필요하다. 이론적인 공진주파수 데이터를 계산하기 위해 non-decaying 모드 표현의 전자계 표현으로 초월함수를 유도한다. 초월함수를 Mathematica의 contour 그래프 기능을 이용하여 공진주파수 계산 값을 구한다. Non-decaying 모드 표현으로 구한 공진주파수 계산 값은 이미 여러 실험을 통해 정확성이 입증되었다^{[6],[7]}. Non-decaying 모드로 공진주파수를 구하면 유전체 봉이 삽입된 경우는 실험 값과의 오차가 최대 0.4%이고^[6], 유전체 디스크가 삽입된 경우는 실험 값과의 오차가 최대 1.6 %^[7]로 정확히 공진주파수를 계산할 수 있다. 본 논문은 유전체 봉을 원통형 공동 공진기에 삽입하여 유전체의 비유전을 구하므로, 0.4%의 공진주파수 계산의 정확도를 이용한다. 공진주파수를 계산할 때 유전율을 임의로 5~15까지 넣어 각 모드별 공진주파수를 계산하고, 도미넌트 모드를 찾는다. 본 논문에 사용한 일라이트는 SiO₂, Al₂O₃ 등의 복합 화합물로서 비교적 낮은 유전율을 갖기 때문에 5~15의 유전율을 넣어서 계산^[8]하였지만, 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 알아 내었으면, 다시 비유전율을 세로축, 공진주파수를 가로축으로 하는 contour 그래프를 그리고, 실험의 공진주파수 측정 값을 대입하여 비유전율을 측정한다.

IV. TE 모드의 전자계 표현 및 비유전율 계산식

실험에서 TE 모드를 이용할 것이므로, TE 모드의 전자계 표현 및 비유전율 계산식인 초월 방정식을 non-decaying 모드로 가정하여 유도한다.

영역 1(유전체 영역)의 전자계

$$H_{\rho 1} = \frac{1}{j\omega\mu_0} A k_{\rho 1} k_{z 1} J_n'(k_{\rho 1} \rho) \cos n\phi k_{z 1} z$$

$$E_{\rho 1} = \frac{n}{\rho} A J_n(k_{\rho 1} \rho) \sin n\phi \sin k_{z 1} z$$

$$H_{\phi 1} = \frac{-n}{j\omega\mu_0} \frac{k_{z 1}}{\rho} A J_n'(k_{\rho 1} \rho) \sin n\phi \sin k_{z 1} z$$

$$E_{\phi 1} = A k_{\rho 1} J_n'(k_{\rho 1} \rho) \cos n\phi \sin k_{z 1} z$$

$$H_{z 1} = \frac{1}{j\omega\mu_0} A k_{\rho 1}^2 J_n(k_{\rho 1} \rho) \cos n\phi \sin k_{z 1} z$$

영역 2(유전체 외부, 공기 영역)의 전자계

$$H_{\rho 2} = \frac{1}{j\omega\mu_0} B k_{\rho 2} k_{z 2} (J_n'(k_{\rho 2} \rho) N_n'(k_{\rho 2} d) - N_n'(k_{\rho 2} \rho) J_n'(k_{\rho 2} d)) \cos n\phi \cos k_{z 2} z$$

$$E_{\rho 2} = \frac{-n}{\rho} B (J_n(k_{\rho 2} \rho) N_n(k_{\rho 2} d) - N_n(k_{\rho 2} \rho) J_n(k_{\rho 2} d)) \sin n\phi \sin k_{z 2} z$$

$$H_{\phi 2} = \frac{n}{j\omega\mu_0} \frac{k_{z 2}}{\rho} B (J_n'(k_{\rho 2} \rho) N_n'(k_{\rho 2} d) - N_n'(k_{\rho 2} \rho) J_n'(k_{\rho 2} d)) \sin n\phi \cos k_{z 2} z$$

$$E_{\phi 2} = -B k_{\rho 2} (J_n(k_{\rho 2} \rho) N_n(k_{\rho 2} d) - N_n(k_{\rho 2} \rho) J_n(k_{\rho 2} d)) \cos n\phi \sin k_{z 2} z$$

$$H_{z 2} = \frac{1}{j\omega\mu_0} B k_{\rho 2}^2 (J_n(k_{\rho 2} \rho) N_n(k_{\rho 2} d) - N_n(k_{\rho 2} \rho) J_n(k_{\rho 2} d)) \cos n\phi \sin k_{z 2} z$$

각 영역의 파수는 다음과 같이 주어진다.

$$k_1^2 = k_{\rho 1}^2 + k_{z 1}^2$$

$$k_2^2 = k_{\rho 2}^2 + k_{z 2}^2$$

영역 1과 영역 2의 경계조건을 적용한다. 즉,

$H_{z 1} = H_{z 2}$ 를 이용하여,

$$\begin{aligned} & A \frac{k_{\rho 1}^2}{j\omega\mu_0} J_n(k_{\rho 1} a) \\ & = C \frac{k_{\rho 2}^2}{j\omega\mu_0} (J_n(k_{\rho 2} a) N_n'(k_{\rho 2} d) - N_n(k_{\rho 2} a) J_n'(k_{\rho 2} d)) \end{aligned} \quad (1)$$

를 구할 수 있고, $E_{\phi 1} = E_{\phi 2}$ 를 이용하여,

$$\begin{aligned} & A k_{\rho 1} J_n'(k_{\rho 1} a) \\ & = C k_{\rho 2} (J_n'(k_{\rho 2} a) N_n(k_{\rho 2} d) - N_n'(k_{\rho 2} a) J_n(k_{\rho 2} d)) \end{aligned} \quad (2)$$

를 얻을 수 있다.

식 (1)을 식 (2)로 나누면, 다음과 같은 경계조건식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{k_{\rho 1}} \frac{J_n(k_{\rho 1} a)}{J_n(k_{\rho 1} a)} = \\ & \frac{1}{k_{\rho 2}} \left(\frac{J_n(k_{\rho 2} a) N_n'(k_{\rho 2} d) - N_n'(k_{\rho 2} a) J_n(k_{\rho 2} d)}{J_n(k_{\rho 2} a) N_n(k_{\rho 2} d) - N_n(k_{\rho 2} a) J_n(k_{\rho 2} d)} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)과 같은 초월 방정식에서 비유전율을 계산하기 위해 $F(f, \epsilon_r)$ 인 특성방정식을 유도한다.

$$\begin{aligned} F(f, \epsilon_r) & = \frac{1}{k_{\rho 1}} \frac{J_n'(k_{\rho 1} a)}{J_n(k_{\rho 1} a)} \\ & - \frac{1}{k_{\rho 2}} \left(\frac{J_n'(k_{\rho 2} a) N_n'(k_{\rho 2} d) - N_n'(k_{\rho 2} a) J_n(k_{\rho 2} d)}{J_n(k_{\rho 2} a) N_n(k_{\rho 2} d) - N_n(k_{\rho 2} a) J_n(k_{\rho 2} d)} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

V. 실험 및 측정 결과

실험에 사용한 유전체 시료는 두 가지이다. 시료-1은 바인더가 들어있는 유전체 봉으로써 지름이 14.37 mm, 높이는 6.08 mm이다. 시료-2는 바인더가 없는 유전체 봉으로써 지름이 14.46 mm, 높이가 8.17 mm이다. 두 유전체는 일라이트로써 SiO₂, Al₂O₃ 등의 복합 화합물이다. 화학적 조성 물질 각각의 유전율을 보고 판단해 보면 5~15의 유전율을 가질 것^[8]이라 예상할 수 있다. 그러나, 직접적인 재료의 정확한 비유전율은 알지 못하는 상태이다. 측

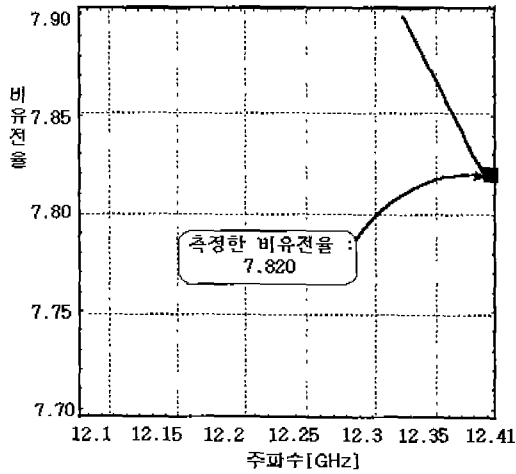


그림 8. 시료-1의 비유전율 측정결과
Fig. 8. The measured result of relative permittivity(existed binder).

고, 식 (4)를 이용하여, TE₀₁₁모드에서 contour 그래프를 그려서 비유전율을 알아낸다. 그림 8은 바인더가 들어있는 시료의 유전율 측정 결과이다. 측정 결과 바인더가 들어있는 시료에서는 7.820의 유전율을 측정하였다.

바인더가 없는 시료의 경우 역시 최저차 모드는 TE₁₁₁ 모드이다. 그러나, 실험 값에서는 TE₁₁₁ 모드라고 생각되는 7 GHz대의 신호는 잘 보이지 않는다. 따라서, 이번 역시 그 다음으로 출력이 높은 TE₂₁₁ 모드를 이용하였다. 측정된 저차 모드와 가장 근접한 계산 값을 갖는 것은 유전율 8일 때이므로, 저차 모드를 TE₂₁₁ 모드라고 가정하고, 바인더가 들어있는 시료와 마찬가지로 식 (4)를 이용하여, TE₂₁₁ 모드에서 contour 그래프를 그려서 비유전율을 알아낸다. 그림 9는 바인더가 없는 시료의 비유전율 측정 결과이다. 측정된 비유전율은 바인더가 없는 시료에서 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. 바인더가 들어있는 시료에서는 7.820의 유전율을 측정하였고, 바인더가 없는 시료에서는 7.894가 측정되었다. 본 논문에서는 non-decaying 모드 표현의 정확한 전자계 표현^[6]을 이용하였기 때문에 정확한 비유전율 측정

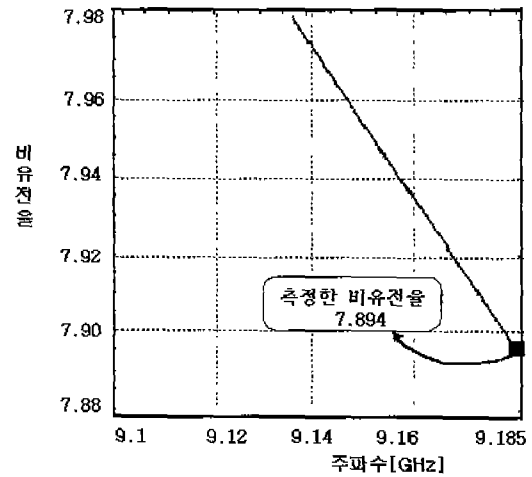


그림 9. 시료-2의 비유전율 측정결과
Fig. 9. The measured result of relative permittivity(without binder).

을 했다고 생각된다. 이렇게 측정된 비유전율의 정확성을 판별하기 위해 다음 절에서는 시료-1의 측정된 비유전율을 non-decaying 모드 표현의 전자계 식에 대입하여, 모드 별 공진주파수를 계산하고, 실험 값과 비교한다.

VIII. 비유전율 측정의 정확성 판별

측정한 바인더가 들어있는 시료의 비유전율(7.820)을 대입하고 모드별 공진주파수를 계산하여 실험 값과 비교해 보았다. 실험 값과 비교하여 모드별 공진주파수가 일치한다면 정확한 측정을 한 것이라 판단할 수 있다. 표 4는 바인더가 들어있는 시료에 대한 실험 값과 측정된 비유전율로 계산한 공

표 4. 모드별 공진주파수 비교(시료-1)

Table 4. Comparison of resonant frequencies in each mode(existed binder).

| 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 | 17.210(TE ₂₂₁) | 0.006 |
| 18.875 | 18.870(TE ₂₁₂) | 0.026 |

진주파수를 비교한 것이다. 측정된 비유전율을 넣어 계산한 공진주파수와 측정된 공진주파수가 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서, 바인더가 들어있는 시료에서 측정된 유전율은 정확한 것이라 사료된다.

Ⅷ. 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, non-decaying 모드 표현의 정확한 전자계 표현으로 공진주파수를 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. 바인더가 들어있는 시료에서는 7.820이 측정되었고, 바인더가 없는 시료에서는 7.894가 측정되었다.

참 고 문 헌

[1] H. G. Cho, "Adsorption of Heavy Metals onto the Illite", *International Symposium on Earth & Environmental Science*, pp. 63-75.
 [2] S. B. Cohn and 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 and 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 and 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 and 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.
 [6] 최홍주, 이원희, 허정, 최광제, 이상영, "동심 유전체 봉이 삽입된 원통형 공진기의 정확한 전자계 표현", *한국전자과학회논문지*, 제 11권, 제 8호, pp.1399-1406, 2000.
 [7] 최홍주, 이원희, 허정, 최광제, 이상영, "유전체 디스크가 삽입된 원통형 공동 공진기에서 Contour Graph 방법을 이용한 공진주파수 계산", *한국전자과학회논문지*, 제 11권, 제 8호, pp.1420-1427, 2000.
 [8] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., 1998.

이 원 희



1998년 2월: 영동대학교 전자공학과 (공학사)
 2000년 2월: 건국대학교 대학원 전자·정보통신공학과 (공학석사)
 2000년~현재: 건국대학교 대학원 전자·정보통신공학과 박사과정
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파 회로 설계, 마이크로파 소자 등

최 홍 주



1993년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)
 1995년 2월: 건국대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2000년 2월: 건국대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 이동통신, 마이크로파 회로 설계 등

구 경 완



1983년 2월: 충남대학교 전자공학과(공학사)
 1985년 2월: 충남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1992년 2월: 충남대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 1989년 3월~1994년 2월: 충청전

문대학 전자과 조교수
 1994년 3월~현재: 영동대학교 정보·전자공학부 부교수
 1998년 3월~1998년 12월: 일본 우츠노미야대학 연구(광파회로소자 연구)
 [주 관심분야] 광파회로소자 및 반도체소자

허 정



1981년: 서울대학교 전자공학과(공학사)
 1983년: 서울대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1991년: 서울대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 현재: 건국대학교 전자·정보통신

공학과 교수
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파 회로설계, 마이크로파 소자 등