

수삼의 마이크로파 유전특성

홍석인 · 이부용 · 박동준 · 오승용
한국식품개발연구원

Dielectric Properties of Fresh Ginseng Determined by an Open-Ended Coaxial Probe Technique

Seok-In Hong, Boo-Yong Lee, Dong-June Park, Seung-Yong Oh
Korea Food Research Institute

Abstract

The dielectric properties, dielectric constant (ϵ') and loss factor (ϵ''), of skin and pulp of fresh ginseng were measured from 25°C to 67°C using an open-ended coaxial probe technique for 915 MHz and 2450 MHz. Pulp and skin had dielectric constant of 30~64 and loss factor between 10 and 20, each variable having a respective frequency dependence typical of materials with high water content. Although the loss factor was nearly constant, the dielectric constant increased as moisture content increased. The dielectric constant of ginseng pulp increased as temperature increased (temperature $\leq 56^\circ\text{C}$), but any significant differences were not found in skin dielectric properties. Penetration depth for fresh ginseng were about 2 cm at 915 MHz and 1 cm at 2450 MHz.

Key words: dielectric property, ginseng, microwave

서 론

식품의 고유 유전특성(dielectric property)은 마이크로파(microwave) 가열시 대상물의 발열거동을 이해하는데 필수적이고, 수분함량이나 밀도 등의 물리적 성질과 연계하여 이들 특성을 비파괴적 방법으로 측정하는데 사용될 수 있으며, 마이크로파 이용 장치의 설계에 필요한 주요 정보를 제공한다⁽¹⁻³⁾. 이러한 유전특성은 간단한 원리에 의해 측정 가능한데, 우선 측정하고자 하는 주파수 영역의 마이크로파를 발생시켜 대상물에 전자기파 신호를 직접 주입한 다음 물질에 의한 신호 변화를 감지하고 이로부터 유전상수(dielectric constant, ϵ')와 손실계수(dielectric loss factor, ϵ'')를 계산해 낸다. 일반적으로 전자기파의 발생과 변화 감지에는 network analyzer를 이용하며, 전자기파 신호의 주입에는 다양한 고정장치(fixture)가 사용된다⁽⁴⁾. 실제로 이용 가능한 측정방법에는 여러 가지가 있으나 각기 나름대로의 장단점이 있어 현재 가장 많이

사용되고 있는 것으로는 open-ended coaxial probe 법, waveguide and coaxial transmission line 법, resonant cavity 법 등을 들 수 있다⁽⁵⁾. 이들 중 probe 법은 특별히 식품의 유전율 측정에 적합한 방법으로서 정확도에 다소 제한이 있어 유지와 같이 유전율이 낮은 물질에는 다소 불리한 단점이 있으나⁽⁶⁾, 폭넓은 주파수 범위에서 측정할 수 있으며 측정 시료의 형태에 구애받지 않기 때문에 각종 신선 과채류^(3,7-10) 및 동물조직⁽¹¹⁻¹³⁾ 등 고수분 유기물질의 유전특성 측정에 널리 사용되어 왔다. 이에 본 연구에서는 마이크로파를 이용한 인삼의 가열공정 설계와 관련하여 수삼의 유전적 성질에 대한 기본 자료를 얻고자 open-ended coaxial probe 법을 이용하여 수분함량 및 온도 조절에 따른 유전특성 변화를 검토하였다.

재료 및 방법

인삼

실험에 사용한 인삼은 국내에서 재배된 4년근(1994년산) 수삼으로 서울 경동시장의 인삼센터에서 구입하였다. 수삼은 표면을 수세하고 잔뿌리를 치미한

Corresponding author: Seok-In Hong, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-ku, Seongnam-si, Kyonggi-do 463-420, Korea

후 상처가 없는 건전한 것만을 선별하여 몸통부분을 이용하였다.

밀도

크기가 균일한 수삼을 몇 개씩 정량한 후 에탄올이 담긴 메스실린더에 넣어 부피를 측정하므로써 밀도를 결정하였다.

수분함량

수삼 시료를 잘게 절단한 후 적외선 수분측정기 (Satorius, VTC-011, USA)를 사용하여 측정하였다.

전처리

수삼의 전처리 조건에 따른 유전특성 변화를 살펴 보고자 건조와 수침을 행하여 수분함량을 조절한 다음 진공포장 상태로 수조에 담그어 온도를 조절하였다. 즉, 0°C 저온실에 저장했던 수삼을 40°C로 유지되는 열풍건조기에서 10시간동안 건조하거나 20°C 수조에 침지하여 수분함량을 각각 60.3%와 76%로 만들고, 일부는 원상태(수분함량 69%) 그대로 Ny/CPP 봉투(두께 60 μm)에 진공포장하였다. 이들을 온도조절이 가능한 수조에 일정시간 침지하여 정해진 온도조건에 도달하도록 한 후 측정에 이용하였다. 수삼의 내부온도는 Chromel-Alumel 열전쌍(K-type, Comak GP kit No. 2, GB)을 사용하여 측정하였다.

유전특성

수삼의 유전특성은 open-ended coaxial probe 법으로 300 MHz~3 GHz 범위에서 측정하였다. 사용된 장비는

network analyzer (Hewlett Packard, HP 8753C), s-parameter test set (Hewlett Packard, HP 85046A), dielectric probe kit (Hewlett Packard, HP 85070A), plotter와 PC로 구성되었으며, 장비의 보정은 load/air/short 방법을 적용하였다⁽⁶⁾. 수삼의 표피 및 절개한 내면에 대해 open ended 3.6 mm probe를 완전히 밀착시켜 시료와 probe 사이에 공기가 침입되지 않도록 한 상태에서 4회 이상 반복하여 측정하였으며⁽⁶⁾, 측정 결과는 text file로 수신하여 통계처리하였다.

침투깊이

침투깊이(d_p)는 유전특성에 따라 좌우되는 변수로서 다음 식⁽⁶⁾을 이용하여 그 값을 계산하였다.

$$d_p = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{2\epsilon'(\sqrt{1+(\epsilon''/\epsilon')^2} - 1)}}$$

여기서 λ 는 대기중 전파의 파장으로써 $\lambda = C_0/f$ ($C_0 = 3 \times 10^8$ m/s, f = 사용 주파수)이다.

결과 및 고찰

수분함량에 따른 유전특성 변화

수분은 측정 대상물의 유전특성에 절대적인 영향을 미치는 인자로서⁽¹⁾ 수분함량에 따른 수삼 표피 및 절단 내면의 유전특성 변화는 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 915와 2450 MHz에서 측정된 수삼의 유전상수는 각기 35~55, 30~50 수준으로 측정 부위 및 주파수에 관계없이 수분함량에 따라 점차 증가하는 경향을 보였으나, 마이크로파 가열

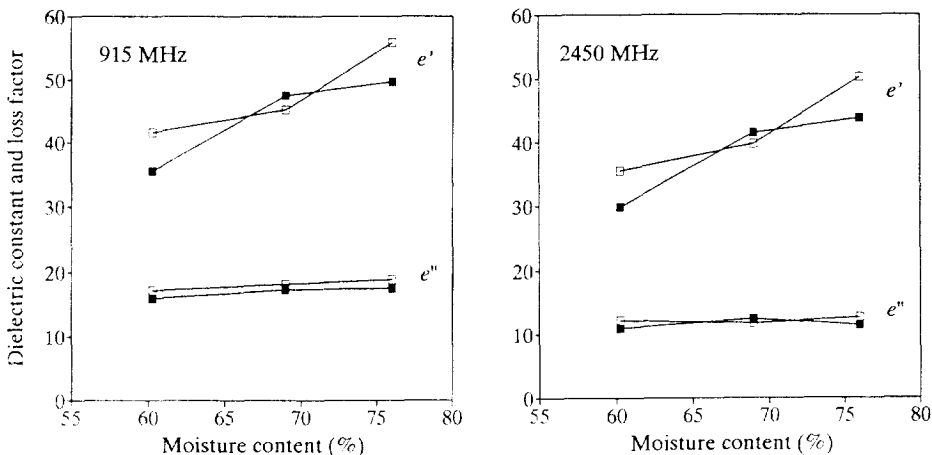


Fig. 1. Dielectric constant ϵ' and loss factor ϵ'' of fresh ginseng at 915 and 2450 MHz as a function of moisture content at 25°C ■—■. Pulp; □—□, Skin

에 직접 영향을 미치는 것으로 알려진⁽⁶⁾ 유전손실계수는 17~18, 11~12로 거의 일정한 값을 유지하였다. 이는 여러 종류의 과채류에 대해 수분함량과 유전특성과의 상관관계를 살펴 본 Nelson 등⁽⁷⁾의 결과와 일치하는 것으로 실험에 사용한 사과, 배, 오렌지, 오이, 당근 등 27가지의 대표적인 과채류에 있어서 수분함량이 증가할수록 유전상수도 증가하여 비례적 상관성을 갖는 것으로 보고되었다. 최근에는 이러한 수분함량과 유전특성과의 밀접한 상관성을 이용하여 특정 과채류에 대한 수분함량이나 숙성도의 비파괴 측정법으로서 마이크로파를 활용하고자 하는 연구도 시도되고 있다⁽⁸⁾.

침투깊이는 마이크로파 에너지가 표면값의 1/e로 감소되는 거리로서 마이크로파 가열양상을 결정하는 주요인자이다⁽⁹⁾. 수삼의 마이크로파 침투깊이에 미치는 수분함량의 영향을 Table 1에 나타내었다. 표에서 보듯이 표피나 절단 내면에 관계없이 전반적으로 거의 일정한 값을 유지하였다. 침투깊이에 대한 주파수의 영향은 예상한 바와 같이 915 MHz에서 약 2 cm, 2450 MHz에서 1 cm 내외로 적용 주파수가 클 때 침투깊이가 더 작아짐을 알 수 있었다. 이는 마이크로파 가열시 마그네트론의 발진주파수에 따라 대상물의 유효 가열두께가 현저하게 달라짐을 의미한다. 따라서 마이크로파를 이용하여 인삼을 효율적으로 가공하고

자 할 경우 수삼의 직경과 침투깊이의 한계를 감안해서 캐비티에 투입되는 수삼의 적재단수를 결정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

온도에 따른 유전특성 변화

식품의 유전특성에 미치는 온도 변화의 영향은 아직까지 명확하게 밝혀지지 않았다⁽¹⁰⁾. 다만 발표된 자료^(15,16)에 의하면 순수한 물의 경우 0°C 이상에서 온도가 증가할수록 유전상수와 손실계수가 감소하고, 수분함량이 높은 신선 식품에 있어서도 불과 마찬가지로 온도 증가에 따라 유전상수 및 손실계수 값이 감소하는 것이 일반적이다. 그러나 핵, 소시지 등 염분함량이 높은 식품은 이온 전도(ionic conduction)의 영향으로 온도가 증가할수록 유전특성 값이 급격히 상승한다. 이와 같이 식품의 유전특성은 구성성분 및 주변조건에 의해 크게 좌우되므로 마이크로파 가열을 식품가공에 널리 이용하기 위해서는 이에 대한 정확한 이해가 반드시 필요하다.

Table 2는 온도 조절에 따른 수삼 표피 및 절단면의 유전특성 변화를 측정된 결과이다. 전체적인 경향을 살펴보면 915 보다 2450 MHz에서의 측정값이 상대적으로 낮으며, 절단 내면에 비해 표피의 유전상수 값이 약간 낮은 것을 확인할 수 있다. 또한 수삼 표피의 경우 수치가 다소 증감하더라도 유전특성이 온도 변화에 거의 영향받지 않았으나, 절단 내면의 유전상수는 온도에 따라 점차 증가하다가 67°C에서 급격히 감소하는 특이한 양상을 나타내었다. 대부분 섬유질로 이루어진 표피층과는 달리 수삼 내부는 주로 수분과 진분으로 구성되어 있음을 감안할 때 온도 상승에 따른 호화로 인하여 수분의 결합상태가 달라지기 때문이라고 생각된다.

한편 온도에 의한 수삼의 마이크로파 침투깊이 변화는 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. 수삼의 표피와 절단 내면의 침투깊이는 915 MHz에서 2 cm 내외, 2450

Table 1. Effect of moisture content on microwave penetration depth of fresh ginseng pulp and skin at 25°C

Moisture content (%)	Density (g/cm ³)	Penetration depth (cm)			
		915 MHz		2450 MHz	
		Pulp	Skin	Pulp	Skin
60.3	1.10	2.0	2.0	1.0	1.0
69.0	0.95	2.1	2.0	1.0	1.1
76.0	1.02	2.1	2.1	1.1	1.1

Table 2. Effect of temperature on dielectric properties¹⁾ of fresh ginseng²⁾ pulp and skin

Temperature (°C)	915 MHz				2450 MHz			
	Pulp		Skin		Pulp		Skin	
	e'	e''	e'	e''	e'	e''	e'	e''
25	47.5 ³⁾ ±4.0 ⁴⁾	17.3±0.5	45.1±0.7	18.1±0.9	41.4±3.4	12.4±0.7	39.7±0.8	11.7±0.4
40	51.9±3.4	19.9±2.3	46.2±3.9	21.6±2.4	43.7±3.6	11.0±1.2	38.1±3.9	10.5±2.9
56	63.3±3.7	22.0±1.8	51.0±4.7	19.1±3.4	51.1±4.6	11.7±2.1	39.9±2.2	9.8±1.1
67	46.5±1.9	12.6±1.0	48.7±3.7	17.6±1.3	42.2±1.5	8.0±0.1	44.4±4.2	10.6±0.3

¹⁾dielectric constant (e') and loss factor (e'')
²⁾moisture content=69.0%, density=0.95 g/cm³
³⁾mean value, ⁴⁾standard deviation

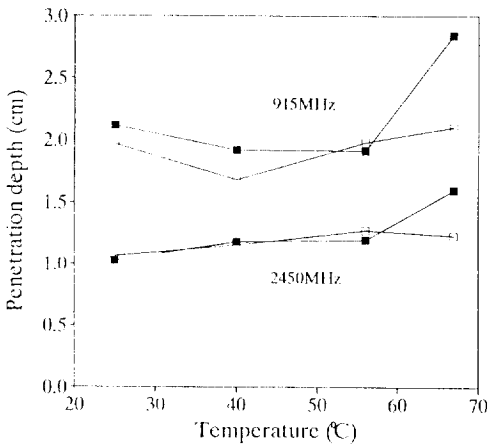


Fig. 2. Penetration depth of fresh ginseng at 915 and 2450 MHz as a function of temperature. The moisture content of ginseng is 69%; ■—■, Pulp; □—□, Skin

MHz에서 1.2 cm로 거의 일정하였으나, 절단 내면의 경우 67°C에서 침투깊이가 급격히 상승하였다. 이는 65~70°C 범위에서 전분 호화가 일어나는 사실과 관련 있다고 생각되며, 마이크로파를 이용한 인삼 가공에 있어서 내부 온도변화에 따라 마이크로파 출력을 적절히 조절해야 함을 시사하는 결과로 해석된다.

요 약

마이크로파를 이용한 인삼의 가열가공 공정설계에 있어 기초적으로 필요한 수삼의 유전적 특성을 open-ended coaxial probe 법으로 측정하였다. 수분함량에 따른 수삼 표피 및 절단 내면의 유전특성 변화는 915, 2450 MHz 측정 주파수에 관계없이 유전상수는 수분 함량에 따라 점차 증가하는 경향을 보였으나, 유전손실계수는 일정한 값을 유지하였다. 또한 표피의 경우 수치가 다소 증감하더라도 유전특성이 온도 변화에 거의 영향받지 않았으나, 절단 내면의 유전상수는 온도에 따라 점차 증가하다가 67°C에서 급격히 감소하였다. 한편 수삼 표피와 절단 내면의 마이크로파 침투 깊이는 수분함량 변화에 그다지 영향을 받지 않아 915 MHz에서 약 2 cm, 2450 MHz에서 1 cm 내외로 대부분 일정하였다.

감사의 글

본 연구는 농림수산부의 농림수산특정과제 연구비 지원에 의하여 이루어진 내용의 일부로서 이에 감사

드립니다. 아울러 장비 제공에 협조해 주신 삼성전자 생활시스템연구소의 손종철 연구원께도 감사드립니다.

문 헌

- Nelson, S. O.: Dielectric properties of some fresh fruits and vegetables at frequencies of 2.45 to 22 GHz. *Trans. ASAE*, **26**, 613 (1983)
- Nelson, S. O.: Microwave dielectric properties of fresh onions. *Trans. ASAE*, **35**, 963 (1992)
- Tran, V. N., Stulchy, S. S. and Kraszewski, A.: Dielectric properties of selected vegetables and fruits 0.1-10.0 GHz. *J. Microwave Power*, **19**, 251 (1984)
- Engelder, D. S. and Buffler, C. R.: Measuring dielectric properties of food products at microwave frequencies. *Microwave World*, **12**, 6 (1991)
- Hewlett Packard: Basics of measuring the dielectric properties of materials. *Application Note 1217-1*. Hewlett Packard Corp., Palo Alto, CA. (1992)
- Buffler, C. R.: *Microwave Cooking and Processing*, AVI Publishers, New York, p.47 (1993)
- Foster, K. R. and Schwan, H. P.: Dielectric properties of tissues and biological materials; A critical review. *CRC Critical Rev. Biomed. Eng.*, **17**, 25 (1989)
- Seaman, R. L. and Seals, J.: Fruit pulp and skin dielectric properties for 150 MHz to 6400 MHz. *J. Microwave Power & Electromagnetic Energy*, **26**, 72 (1991)
- Nelson, S. O., Forbus, W. Jr. and Lawrence, K.: Permittivities of fresh fruits and vegetables at 0.2 to 20 GHz. *J. Microwave Power & Electromagnetic Energy*, **29**, 81 (1994)
- Nelson, S. O., Forbus, W. Jr. and Lawrence, K.: Microwave permittivities of fresh fruits and vegetables from 0.2 to 20 GHz. *Trans. ASAE*, **37**, 183 (1994)
- Brady, M. M., Symons, S. A. and Stulchy, S. S.: Dielectric behavior of selected animal tissues in vitro at frequencies from 2 to 4 GHz. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, **28**, 305 (1981)
- Burdette, E. C., Friedrich, P. G., Seaman, R. L. and Larsen, L. E.: *In situ* permittivity of canine brain; regional variations and postmortem changes. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **34**, 38 (1986)
- Tran, V. N. and Stulchy, S. S.: Dielectric properties of beef, beef liver, chicken and salmon at frequencies from 100 to 2500 MHz. *J. Microwave Power*, **22**, 29 (1987)
- Nelson, S. O., Forbus, W. Jr. and Lawrence, K.: Microwave dielectric properties of fresh fruits and vegetables and possible use for maturity sensing. In *Harvest and Postharvest Technologies for Fresh Fruits and Vegetables*, Kushwaha, L., Serwatowski, R and Brook, R. (Ed.), ASAE Proceedings of the International Conference, Michigan, pp.497-504 (1995)
- Bengtsson, N. and Risman, P.: Dielectric properties of foods at 3 GHz as determined by a cavity perturbation technique. Measurement on food materials. *J. Mi-*

- crowave Power*, **6**, 107 (1971)
16. Rynänen, S.: The electromagnetic properties of food materials: A review of the basic principles. *J. Food Eng.*, **26**, 409 (1995)
-
- (1996년 1월 18일 접수)