

반강체 동축케이블 안테나를 이용한 RFA용 어플리케이터의 특성 개선

*강철준, 박성교, *김선호, 박종백

*조선대학교 대학원

조선대학교 전자정보공과대학 전자·정보통신공학부

The Improvement of Characteristics of The Applicator Using Semi-rigid Coaxial Cable Antenna for RFA

*Choul Jun Kang, Sung Kyo Park, *Sun Ho Kim, Chong Baek Park

*Graduate School, Chosun University

School of EIC Engineering, Chosun University

(Electronics · Information and Communications)

E-mail : skcpark@chosun.ac.kr

Abstract

Radiofrequency ablation (RFA) as one of the microwave hyperthermia is becoming the treatment of choice for small but inoperable tumors of the liver. In this paper, we designed the applicator composed of semi-rigid coaxial cable antenna with a ring slot for RFA. To optimize the maximum output of radiation with omni direction at 2450 Mhz, we simulated the applicator using Electromagnetic simulation program and analyzed the return loss and the electric field E_{tot} at the near-field region between the simulation results and measurement results.

As a result, we obtained the return loss of -29.786 dB at 2450 Mhz when the applicator was placed between two blocks of a pig's liver, and the measurement results agreed with the simulation results well. Therefore, this applicator using semi-rigid coaxial cable antenna with a ring slot can be used very usefully as the applicator for RFA.

1. 서론

간암이란 간을 이루고 있는 간세포에서 생겨난 암으

로서 매년 전 세계적으로 약 100만 명의 환자가 발생하고 이 중 대다수를 사망에 이르게 하는 세계적으로 발병률이 높은 무서운 질병이다. 간암의 발생률은 지역에 따라 차이가 많아서 우리 나라, 일본, 동남아시아, 중국, 아프리카 등지에서는 발생률이 높고, 북유럽이나 미국 등지에서는 발생률이 낮다.

간암은 종양이 작은 경우 수술을 통해 치료가 가능하나 크기가 크거나 간 밖으로 전이된 경우에는 수술이나 간이식이 불가능하다. 그러므로 수술이나 간이식을 통해 치료할 수 없는 환자에 대해서는 주사 바늘을 이용하여 피부와 간의 외피를 뚫고 암 조직 자체에 알코올을 직접 주입하는 경피적알코올주입술 (Percutaneous Ethanol Injection : PEI), 고주파로 종괴를 응고시키는 고주파치료술 (Radiofrequency ablation : RFA) 등의 국소 치료법과 간암에 선택적으로 항암제를 투여하고 간암세포의 혈관을 막아 치료하는 경도관동맥화학색전술 (Transcatheter Arterial Chemoemboliza : TACE) 등을 이용하여 치료할 수 있다. 그러나 경피적알코올주입술이나 경도관동맥화학색전술은 간암 치료에 효과는 있지만 여러 가지 문제점을 가지고 있다.

PEI의 가장 큰 단점은 3 cm 이상 되는 큰 종양을 치료하는 것이 어렵다는 것이다. 즉, 이 경우 알코올이 불충분하게 공급되어져 치료 후 생존 가능한 인어의 종양 세포가 발견된다는 점이다. 게다가, 시술 과정에서 환자가 통증을 심하게 느끼는 경우가 많으며 여러 번

치료를 해야 한다는 단점이 있다. 3 cm 크기의 간세포 암을 치료하기 위해서는 적어도 6회 이상 시술해야 하며, 2주 이상의 입원 기간이 필요하다. 또, TACE는 간 동맥내로 요오드 오일을 섞은 항종양성 약품을 주입하며, 큰 간암 종양치료에 이용된다. 그러나, 피막이 없는 종양이나 새로운 암세포가 피막 밖에서 침투하는 종양에서는, 종양 세포들이 다른 조직으로 전이되기 때문에, TACE는 종종 종양을 완전히 괴사시키지 못한다. 그러나, microwave hyperthermia 치료법[1,2]의 일종인 RFA는 초음파나 computed tomography (CT) 또는 magnetic resonance imaging (MRI)의 유도 하에 직접적으로 간암 종괴 내에 어플리케이터 (applicator)를 삽입한 다음, 고주파를 발생시킨다. 그리하면 어플리케이터의 슬롯 부분에서 이온들의 진동으로 인해 열이 발생하기 시작하는데 10-30분 후 온도가 100 °C가 되면 격리되어진 종양이나 혹은 국부적인 종양을 죽일 수 있게 된다. 또 이 RFA는 기존의 다른 치료법을 이용하였으나 실패하여 종양이 재발하거나 수술 불가능한 환자들에게 안전하면서도 효과적인 치료를 제공한다. 조직을 파괴시킬 수 있는 치료법으로 레이저를 이용한 응고법이 있지만, RFA가 안전하면서도, 경제적이고 또 범용적인 것으로 나타나 크기가 작으면서도 수술이 불가능한 간 종양에 대한 치료법으로 자리잡고 있다. 그러나, 치료가 가능한 부위가 작기 때문에 어플리케이터의 방사특성 개선 및 배열에 관한 연구가 요구되어지고 있다.

본 연구에서는, 방사특성 개선을 위하여 현재 사용되고있는 375 MHz, 430 MHz 대신 2450 MHz를 이용하는 링 슬롯을 갖는 반강체 동축케이블 안테나를 이용한 RFA용 어플리케이터를 설계하였다. 먼저 EM simulation 프로그램을 이용하여 제한한 어플리케이터의 근거리장에서의 전자기 분포와 반사계수를 분석한 다음 전방향으로 최대 출력을 방사할 수 있도록 최적화하였으며, 이 결과들을 고려하여 제작한 어플리케이터의 측정 결과들과 비교·검토하였다.

II. 어플리케이터의 설계

안테나의 설계 및 해석에 있어, computational electromagnetics (CEM)[3]은 전자기 문제에 대한 수치 결과를 얻기 위해 폭 넓게 사용되어지고 있다. CEM을 분류하는데 있어 여러 가지 방법이 있지만, 우선 미분방정식에 기초하고 있는지 아니면 적분방정식에 기초하고 있는 지로 구분할 다음, 다시 주파수 영역과 시간영역 두 가지로 나눈다. 유한요소법 (Finite-element Method : FEM)[4,5]은 미분방정식에

기초한 주파수 영역에 관한 해석법으로서 본 연구에서는, 어플리케이터의 특성을 최적화하기 위하여 FEM을 이용하는 EM simulation 프로그램을 이용하였다.

링 슬롯을 갖는 반강체 동축케이블 안테나를 이용한 어플리케이터의 구조는 그림 1과 같으며 여기서, d_a 는 동축케이블 안테나의 지름, d_c 는 카테테르의 외경, t_c 는 카테테르의 두께, L_{ts} 는 안테나 끝에서부터 슬롯 중심까지의 길이, L_i 는 돼지간으로의 삽입 길이, 그리고 L_t 는 어플리케이터 전장이다. 직경 1.19 mm의 가는 반강체 동축케이블을 PTFE (Polytetra fluoroethylene)로 만들어진 카테테르 안에 삽입하여 안테나에 응고된 조직들이 달라붙는 것을 방지하였다. 링 슬롯은 바깥 도체를 잘라내어 만들었으며 케이블의 끝 부분은 단락처리 하였다. 여기서, 케이블 안 유전체의 유전상수는 2.07, 카테테르의 유전상수는 2.6 그리고 돼지간의 유전상수는 43.66이었다.

그림 2에는 어플리케이터의 해석용 모델이, 그림 3에는 모의실험용 어플리케이터의 근거리장에서 정규화된 전계강도 E_{total} (dBV/m)가 그리고 그림 4에는 모의실험에 의한 반사계수가 나타나 있다.

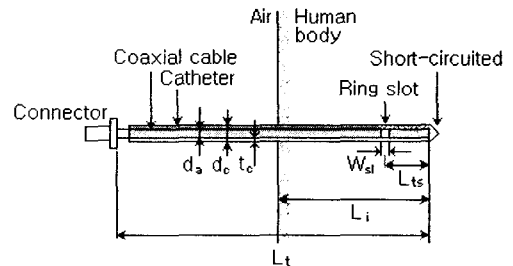


그림 1. 어플리케이터의 구조

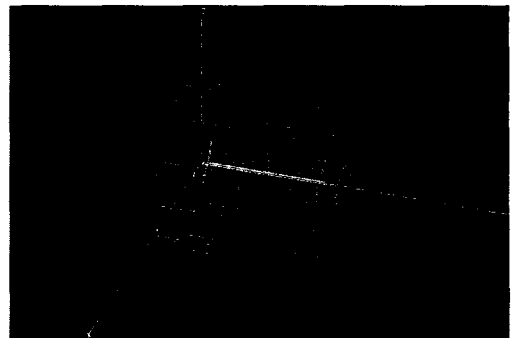


그림 2. 어플리케이터의 해석용 모델

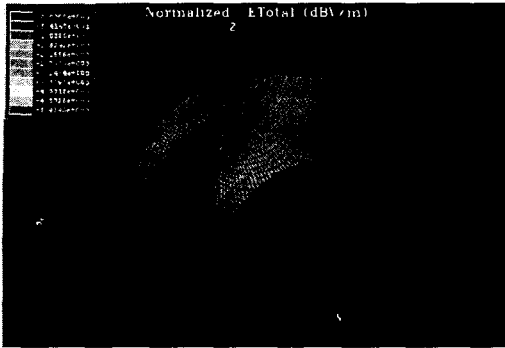


그림 3. 근거리장에서의 정규화된 전계강도 E_{Total} (dBV/m)

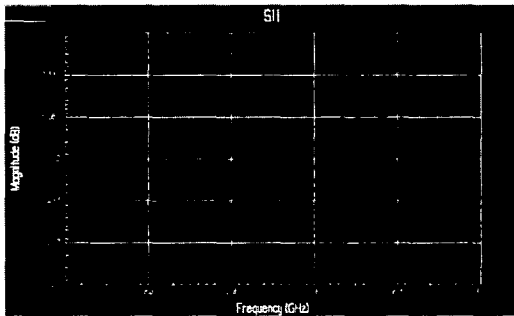


그림 4. 모의실험에 의한 반사계수

III. 실험 및 고찰

슬롯의 폭 W_{sl} 과 길이 L_{ls} 를 바꾸어 가며 어플리케이터를 모의실험 하였으며 슬롯이 하나 있는 어플리케이터 한 개만 고려하였다. 모의실험 결과, 어플리케이터 슬롯 주위의 효과적인 가열이 간사이의 가열에 있어 매우 중요할 뿐만 아니라 또 슬롯 주위에서 전계 강도가 커야만 하기 때문에 폭 W_{sl} 은 2 mm 그리고 길이 L_{ls} 는 6 mm 로 하였다. 이 때, 동작주파수는 국부가열을 고려하여 현재 사용되고 있는 375 kHz, 430 kHz 대신 2450 MHz로 하였다. 모의실험 결과를 고려하여 설계·제작한 어플리케이터의 규격은 표 1과 같다.

본 연구에서 사용한 반강체 동축케이블 UT 47-TP는 은도금 구리선 (Silver-plated Copper Wire : SPCW)으로 된 중심도체, 고품질의 PTFE로 된 유전체, 그리고 구리로 된 외부도체로 구성되어있다. 일반적으로 이 케이블은 전기적으로나 기계적으로 성능이 뛰어나 다용도로 쓰여지고 있다.

제작한 어플리케이터들의 반사계수와 임피던스 특성은 Agilent사의 회로망 분석기(8753D, 8722ES)를 이용하여 1000 - 3000 MHz와 0.05 - 26.5 GHz 범위에서 측정

하였으며, 이 때 카테테르가 없는 어플리케이터의 반사계수는 그림 5와 같고, 카테테르를 씌운 어플리케이터의 반사계수는 그림 6과 같다.

표 1. 어플리케이터의 규격

종 류	규 격 [mm]
L_t	140.0
L_i	70.0
L_{ls}	6.0
d_a	1.19
d_c	1.79
t_c	0.3
W_{sl}	2.0

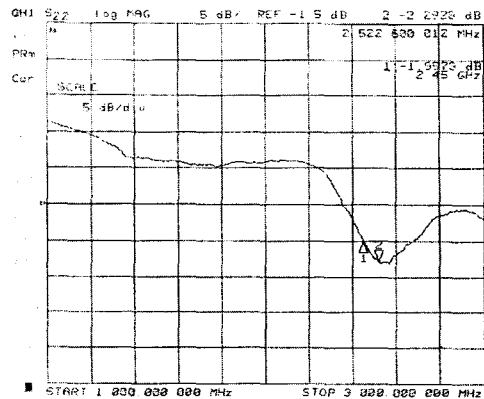


그림 5. 카테테르가 없는 어플리케이터의 반사계수.

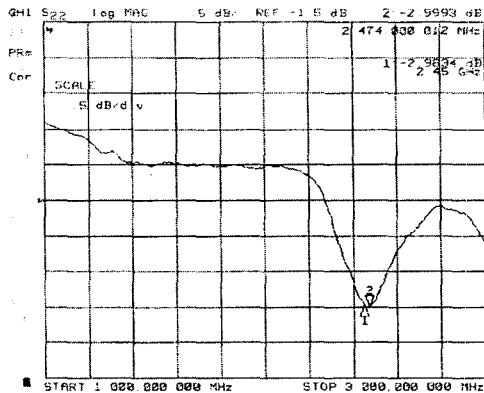


그림 6. 카테테르를 씌운 어플리케이터의 반사계수.

카테테르를 씌운 어플리케이션을 둘로 나뉘어진 돼지 간 사이에 넣고 측정된 어플리케이션의 반사계수는 그림 7과 같은데, 이 때, 돼지간을 30 °C가 될 때까지 예열한 후 돼지 간 사이에 어플리케이션을 넣고 측정하였다.

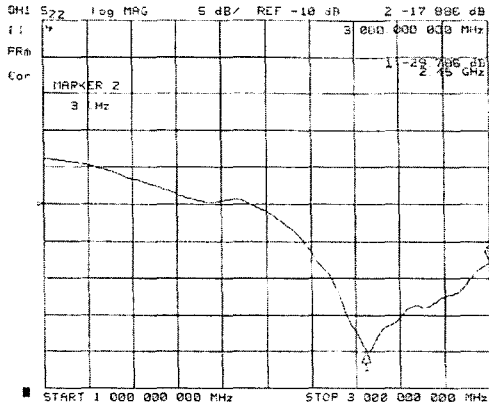


그림 7. 돼지 간 사이에 넣고 측정된 어플리케이션의 반사계수.

측정 결과, 카테테르가 없는 어플리케이션의 반사계수는 주파수 2450 MHz일 때 -1.997 dB, 카테테르를 씌운 어플리케이션의 반사계수는 -2.963 dB이었으나 돼지 간 사이에 어플리케이션을 넣고 측정된 결과 반사계수는 -29.786 dB로 나타났다.

표 2에는 주파수 범위 1000 - 3000 MHz와 0.05 - 26.5 GHz일 때 여러 가지 슬롯의 폭 W_{sl} 과 길이 L_{ls} 에 따른 어플리케이션 3 종류의 반사계수가 나타나 있다. 표에서, Antenna는 카테테르가 없는 어플리케이션, Catheter는 카테테르를 씌운 어플리케이션, 그리고 Liver는 카테테르를 씌운 체로 돼지 간 사이에 놓고 측정된 어플리케이션을 나타낸다. 카테테르를 씌운 체로 돼지 간 사이에 어플리케이션을 넣고 측정된 경우 모의 실험과 같이 주파수 2450 MHz일 때 최소 반사계수를 얻을 수 있었다.

IV. 결론

링 슬롯을 갖는 반강체 동축케이블 안테나로 이루어진 RFA용 어플리케이션을 설계·제작하였다. 먼저, EM simulation 프로그램을 이용하여 여러 가지의 슬롯 폭 W_{sl} 과 길이 L_{ls} 에 따른 어플리케이션의 특성을 모의실험 하였으며, 슬롯 주위에서의 효과적인 가열과 전계 강도를 고려하여 W_{sl} 와 L_{ls} 를 각각 2 mm, 6 mm로 하였다. 어플리케이션을 인간의 간과 가장 비슷한 특

성을 갖고 있는 돼지 간 사이에 넣고 측정된 결과, 주파수 2450 MHz일 때 -29.786 dB의 좋은 반사계수를 얻었으며, 이 때, 측정결과는 모의실험 결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 이후 더 보완하면, RFA용 어플리케이션으로 잘 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

표 2. 폭 W_{sl} 과 길이 L_{ls} 에 따른 반사계수

1000-3000 MHz		Antenna	Catheter	Liver	Antenna	Catheter	Liver		
W _{sl}	L _{ls}								
2	5	dB	-1.966	-2.447	-18.273	-2.074	-2.501	-18.742	
		MHz	2450			2510	2501	3000	
	6	dB	-1.997	-2.963	-29.786	-2.203	-2.969	≈ -30.0	
		MHz	2450			2523	2474	≈ 2450	
	7	dB	-2.311	-3.337	-22.386	-2.797	-3.341	-23.942	
		MHz	2450			2558	2457	2649	
	8	dB	-2.614	-3.907	-13.589	-3.333	-3.980	-22.6	
		MHz	2450			2539	2462	2012	
	0.05-26.5 GHz		Antenna	Catheter	Liver	Antenna	Catheter	Liver	
	2	5	dB	≈ -3	≈ -3	≈ -16	-18.886	-18.794	-34.976
			GHz	2.450			16.053	7.322	3.486
		6	dB	-3.135	-3.704	-23.974	-22.455	-21.864	-28.416
GHz			2.450			21.737	19.230	2.561	
7		dB	-10.225	-4.319	≈ -13	-27.991	-34.852	-24.304	
		GHz	2.450			24.385	25.046	2.823	
8		dB	≈ -5	≈ -6	≈ -16	-19.618	-26.229	-27.357	
		GHz	2.450			24.517	23.721	13.273	

참고문헌

- [1] S. Pisa, M. Cavagnaro, P. Bernardi, and J. C. Lin, "A 915-MHz antenna for microwave thermal ablation treatment: physical design, computer modeling and experimental measurement," IEEE Trans Biomed. Eng., vol. 48, Issue 5, pp. 599-601, May 2001.
- [2] K. Saito, T. Taniguchi, H. Yoshimura, and K. Ito, "Estimation of SAR Distribution of a Tip-Split Array Applicator for Microwave Coagulation Therapy Using the Finite Element Method," IEICE Trans ELECTRON, vol. E84-C, no. 7, pp. 948-954, July 2001.
- [3] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, Antenna theory and design, New York: John Wiley & Sons. Inc., pp. 493-544, 1998.
- [4] K. Saito, Y. Hayashi, H. Yoshimura, and K. Ito, "Heating Characteristics of Array Applicator Composed of Two Coaxial-Slot Antennas for Microwave Coagulation Therapy," IEEE Trans MTT, vol. 48, no. 11, pp. 1800-1806, Nov. 2000.
- [5] J. L. Volakis, A. Chatterjee, and L. C. Kempel, Finite Element Method for Electromagnetics ANTENNAS, MICROWAVE CIRCUITS, AND SCATTERING APPLICATIONS, New York: IEEE PRESS, pp. 183-225, 1998.