

## RTA용 반강체 동축케이블 안테나

\*강철준, 박성교, \*문장원, 박종백

\*조선대학교 대학원

조선대학교 전자·정보공과대학 전자·정보통신공학부

전화 : 062-230-7860 / 핸드폰 : 017-606-9798

### Semi-rigid Coaxial Cable Antenna for RTA

\*Choul Jun Kang, Sung Kyo Park, \*Jang Won Moon, Chong Baek Park

\*Graduate School, Chosun University

School of EIC Engineering, Chosun University

(Electronics · Information and Communication)

E-mail : skcpark@chosun.ac.kr

#### Abstract

Radiofrequency thermal ablation (RTA) 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 RTA. To optimize the maximum output of radiation at 2450 MHz, we simulated the antenna using Electromagnetic simulation tools Maxwell 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 antenna was placed between two blocks of a pig's liver, and the measurement results agreed with the simulation results well. Therefore, this semi-rigid coaxial cable antenna with a ring slot can be used very usefully as the applicator for RTA.

#### I. 서론

간암(Hepatocellular Carcinoma : HCC)이란 간을 이루고 있는 간세포에서 생겨난 암으로서 매년 전 세계적으로 약 100만 명의 환자가 발생하고 이 중 대다수

를 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 고주파열치료술(Radiofrequency thermal ablation : RTA) 등의 국소 치료법과 간암에 선택적으로 항암제를 투여하고 간암세포의 혈관을 막아 치료하는 경도관동맥화학색전술(Transcatheter Arterial Chemoemboliza : TACE) 등을 이용하여 치료할 수 있다. 그러나 경피적알코올주입술이나 경도관동맥화학색전술은 HCC 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 잉여의 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 HCC 종양치료를 이용된다. 그러나, 피막이 없는 종양이나 새로운 암세포가 피막 밖에서 침투하는 종양에서는, 종양 세포들이 다른 조직으로 전이되기 때문에, TACE는 종종 종양을 완전히 피사시키지 못한다. 그러나 microwave hyperthermia 치료법[1-3]의 일종인 RTA는 초음파나 computed tomography (CT) 또는 magnetic resonance imaging (MRI)의 유도하에 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 RTA는 기존의 다른 치료법을 이용하였으나 실패하여 종양이 재발하거나 수술 불가능한 환자들에게 안전하면서도 효과적인 치료를 제공한다. 조직을 파괴시킬 수 있는 치료법이 많이 있지만, RTA가 안전하면서도, 경제적이고 또 범용적인 것으로 나타나 크기가 작으면서도 수술이 불가능한 간 종양에 대한 치료법으로 자리잡고 있다. 따라서, 작은 크기로 제한된 치료부위의 확대를 위해 어플리케이터의 방사 특성 개선에 관한 연구가 요구되어지고 있다.

본 연구에서는, 이를 위하여 링 슬롯을 갖는 반강체 동축케이블 안테나를 이용한 RTA용 어플리케이터를 설계하였다. 먼저 EM simulation tools인 Maxwell 프로그램을 이용하여 제안한 동축케이블 안테나의 근거리 장에서의 전자기 분포와 반사계수를 분석한 다음 2450 MHz에서 최대 출력을 방사할 수 있도록 최적화 하였으며, 이 결과들을 고려하여 제작한 어플리케이터의 측정 결과들과 비교·검토하였다.

## II. 동축케이블 안테나와 CEM

안테나의 설계 및 해석에 있어, computational electromagnetics (CEM)[4]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 구분한 다음, 다시 주파수 영역과 시간영역 두 가지로 나눈다. 유한요소법 (Finite-element Method : FEM)[5]은 미분방정식에 기초한 주파수 영역에 관한 해석법으로서 본 연구에서는, 안테나의 특성을 최적화하기 위하여 FEM을 이용하는 EM simulation tools인 Maxwell 프로그램을 이용하였다.

링 슬롯을 갖는 반강체 동축케이블 안테나의 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 안테나 전장이다. 직경 1.19 mm의 가는 반강체 동축케이블을 PTFE (Polytetrafluoroethylene)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 모의실험을 위한 해석용 안테나의 근거리 장에서의 정규화된 전계강도  $E_{total}$  (dBV/m)가 나타나 있다.

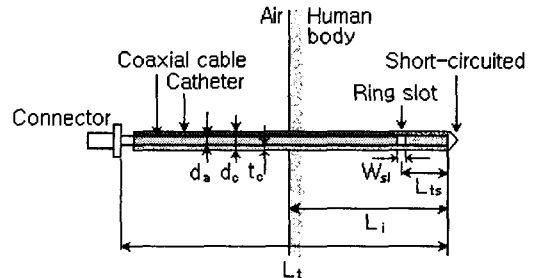


그림 1. 링 슬롯을 갖는 반강체 동축케이블 안테나의 구조

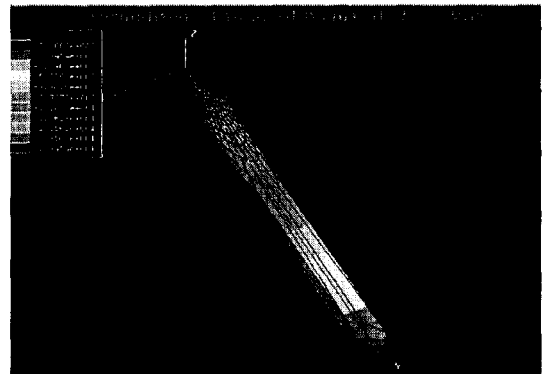


그림 2. 근거리장에서의 정규화된 전계강도  $E_{total}$  (dBV/m)

## III. 실험 및 고찰

슬롯의 길이  $L_{ts}$ 와 폭  $W_{sl}$ 을 바꾸어 가며 안테나를 모의실험 하였으며 슬롯이 하나 있는 안테나 한 개만 고려하였다. 모의실험 결과, 안테나 슬롯 주위의 효과적인 가열이 간사이의 가열에 있어 매우 중요할 뿐만 아니라 또 슬롯 주위에서 전계 강도가 커야만 하기 때

문에 길이  $L_{ts}$ 는 6 mm 그리고 폭  $W_{sl}$ 은 2 mm로 하였다. 이 때, 동작주파수는 기존의 microwave coagulation therapy (MCT) 치료에서 사용하는 2450 MHz로 하였다. 모의실험 결과를 고려하여 설계·제작한 반강체 동축케이블 안테나의 규격은 표 1과 같다.

표 1. 안테나의 규격

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

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

제작한 안테나들의 반사 손실과 임피던스 특성은 Agilent사의 회로망 분석기(8753D)를 이용하여 1000 - 3000 MHz와 30 kHz - 6000 MHz 두 범위에서 측정하였으며, 카테테르가 없는 안테나의 반사손실 특성은 그림 3과 같고, 카테테르를 씌운 안테나의 반사손실 특성은 그림 4와 같다.

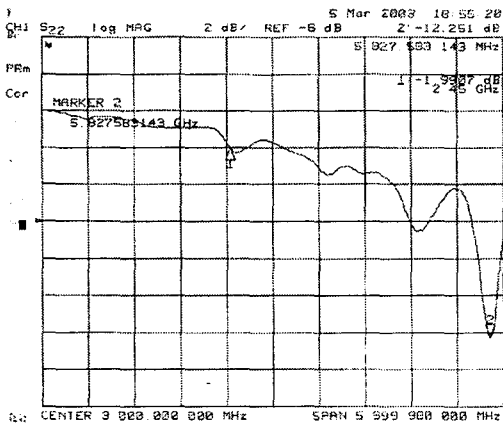


그림 3. 카테테르가 없는 안테나의 반사계수 (6000 MHz)

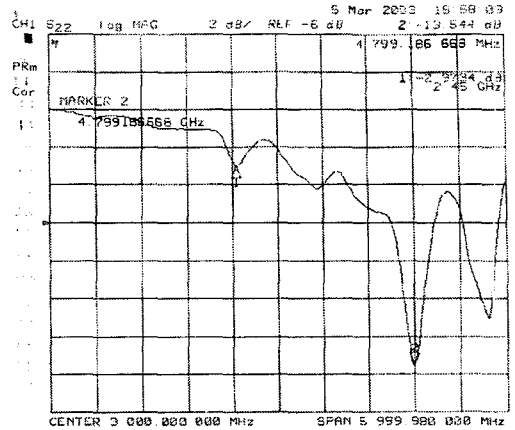


그림 4. 카테테르를 씌운 안테나의 반사계수 (6000 MHz)

카테테르를 씌운 안테나를 둘로 나뉘어진 돼지간 사이에 넣고 측정한 안테나의 반사손실 특성은 그림 5와 같은데, 이 때, 돼지간을 30 °C가 될 때까지 예열한 후 돼지간 사이에 안테나를 넣고 측정하였다.

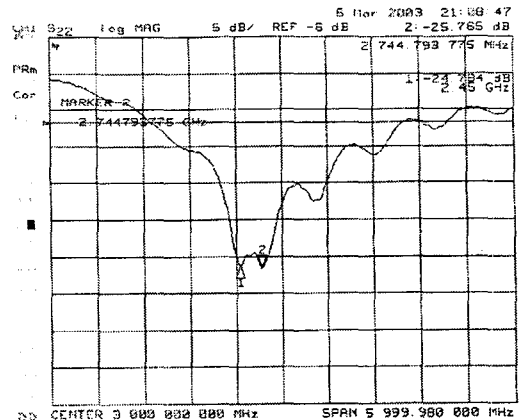


그림 5. 돼지간 사이에 넣고 측정한 안테나의 반사계수. (6000 MHz)

측정(1000~3000 MHz 범위) 결과, 카테테르가 없는 안테나의 반사계수는 주파수 2450 MHz일 때 -1.997 dB, 카테테르를 씌운 안테나의 반사계수는 주파수 2450 MHz일 때 -2.963 dB이었으나 돼지 간 사이에 안테나를 넣고 측정한 결과 반사계수는 주파수 2450 MHz일 때 -29.786 dB로 나타났다.

표 2에는 여러 가지 슬롯의 길이  $L_{ts}$ 와 폭  $W_{sl}$ 에 따른 안테나 3 종류의 반사계수가 주파수 범위 1000~3000 MHz, 30 kHz - 6000 MHz 두 가지로 구분되어 나타나 있다. 표에서, Antenna는 카테테르가 없는 안테나를,

Catheter는 카테테르를 씌운 안테나를, 그리고 Liver는 카테테르를 씌운 체로 돼지간 사이에 놓고 측정된 안테나를 나타낸다. 카테테르를 씌운 체로 돼지간 사이에 안테나를 놓고 측정한 경우 모의실험과 같이 주파수 2450 MHz일 때 최소 반사계수를 얻을 수 있었다.

표 2. 길이  $L_{ts}$ 와 폭  $W_{sl}$ 에 따른 반사계수

1000-3000 MHz		Antenna	Catheter	Liver	Antenna	Catheter	Liver		
$W_{sl}$	$L_{ts}$								
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	-2.293	-2.999	$\approx$ -30.0	
		Mhz	2450			2523	2474	$\approx$ 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	
	30 MHz-6000 MHz		Antenna	Catheter	Liver	Antenna	Catheter	Liver	
	2	5	dB	-1.920	-2.547	-16.506	-34.578	-13.423	-47.74
			Mhz	2450			5699	5633	3419
		6	dB	-1.991	-2.973	-24.784	-12.251	-13.544	-25.765
Mhz			2450			5828	4799	2745	
7		dB	-2.301	-3.336	-23.425	-11.63	-8.150	-24.77	
		Mhz	2450			5737	5483	2380	
8		dB	-2.640	-3.911	-14.858	-7.220	-8.904	-22.577	
		Mhz	2450			4944	4824	2026	

제작한 카테테르가 없는 동축케이블 안테나의 방사 패턴은 그림 6과 같으며 전체적으로 전방향성을 나타냈다.

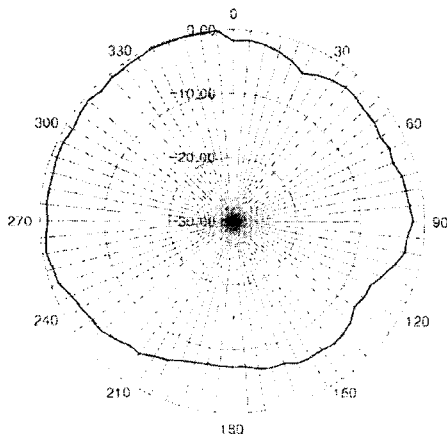


그림 6. XY면의 방사패턴

#### IV. 결론

링 슬롯을 갖는 반강체 동축케이블 안테나로 이루어진 RTA용 어플리케이터를 설계·제작하였다. 먼저, EM simulation tools인 Maxwell 프로그램을 이용하여 여러 가지의 슬롯 길이  $L_{ts}$ 와 폭  $W_{sl}$ 에 따른 안테나의 특성을 모의실험 하였으며, 슬롯 주위에서의 효과적인 가열과 전계 강도를 고려하여  $L_{ts}$ 와  $W_{sl}$ 을 각각 6 mm, 2 mm로 하였다.

안테나를 인간의 간과 가장 비슷한 특성을 갖고 있는 돼지간 사이에 놓고 측정한 결과, 주파수 2450 MHz일 때 -29.786 dB의 좋은 반사계수를 얻었으며, 이 때, 측정결과는 모의실험 결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 이후 좀 더 보완하면, 링 슬롯을 갖는 반강체 동축케이블 안테나가 RTA용 어플리케이터로 잘 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

#### 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, 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.
- [3] H. Saito, S. Hosaka, Y. Hayashi, H. Yoshimura, and K. Ito, "LOCALIZED HEATING BY THE COAXIAL-DIPOLE ANTENNA FOR MICROWAVE COAGULATION THERAPY," ISAPE2000 proc., pp. 406-409, Aug. 2000.
- [4] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, Antenna theory and design, New York: John Wiley & Sons. Inc., pp. 493-544, 1998.
- [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.