

개방형 구조를 갖는 새장 고주파코일

이 수열, 박 부식, 이 정한*, 이 완*, 문 치웅*, 강 동현*
건국대학교 의과대학 의공학과
*삼성종합기술원 의료기기팀

A Open Structure of the Bird-cage RF coil

S. Y. Lee, B.S. Park, J.H. Yi*, W. Yi*, C.W. Mun*, and D.H. Kang*
Dept. of Biomedical Eng., College of Medicine, Konkuk University
*Medical Equipment Lab., Samsung Advanced Institute of Technology

Abstract

A new open structure of the bird-cage RF coil is proposed. By applying in-phase or out-of-phase voltage to the two terminals of the open bird-cage RF coil, desirable level of RF field uniformity has been achieved. Theoretical resonance frequencies of the RF coil has been obtained and compared with experimental ones. The quality factor of the open bird-cage RF coil has been found to be comparable to the one of the conventional RF coil.

서론

새장(bird-cage) 고주파코일은 자기공명영상시스템에서 널리 쓰이고 있다. 이 고주파코일은 다른 고주파코일에 비해 감도가 높고 또한 고주파 자계의 균일도가 좋은 장점을 가지고 있다. 고주파 자계의 균일도를 높이기 위해 일반적으로 새장 고주파코일은 원통형으로 되어 있다. 본 논문에서는 새장 고주파코일의 형상을 원통형으로 국한시키지 않고 한쪽이 열린 원통형, 한쪽이 열린 사각통형 등 개방형 구조를 가지는 새장 고주파코일에 대하여 연구하였다. 최근 자기공명영상시스템의 편의성을 높이고 중재의학적인 기술을 가능하게 하는 개방형 자기공명영상시스템이 본격적으로 소개되고 있어 개방형 구조를 가지는 새장 고주파코일의 개발은 큰 의미를 가지고 있다. 본 논문에서는 개방형 새장 고주파코일을 효과적으로 구동하는 방법과 이 고주파코일의 자계균일도를 높이는 방법을 소개하였다. 또한 개방형 새장 고주파코일의 공명주파수를 구하는 식을 유도하고 이를 실험적으로 입증하였다.

방법

그림 1(a)와 (b)에 원래 모양의 새장 고주파코일과 한 쪽이 열린 새장 고주파코일의 모양을 나타내었다. 그림 1(a)의 구조에서는 N 개의 수직 전선이 원통 표면에 등간격으로 배치되어 있고 수직 전선은 호형 전선으로 서로 연결되어 있다. 수직 전선의 중심 부분은 절단되어 있고 절단 부분은 캐패시터로 연결되어 있다. 이들 수직 전선에 $i=1, \dots, N$ 의 번호를 매기고 각각의 전선에 $I_i=I_0 \cos(2\pi i/N)$ 의 전류를 흐르게 하면 원통 내부에 매우 균일한 고주파 자계를 얻을 수 있다. 이러한 전류 분포를 얻기 위해서는 N 개의 수직 전선 중 어느 하나를 선택하여 그 전선에 연결된 캐패시터에 새장 고주파코일의 공명주파수와 비슷한 주파수의 전압신호를 인가하는 방법이 많이 사용된다. 그림 1(b)의 구조에서는 N 개의 권선이 한 쪽이 ϕ 각 만큼 열린 원통 표면에 등간격으로 부착되어 있다. 한 쪽을 여는 각도는 임의로 조절할 수가 있고 열린 쪽의 두 개 단자에는 두 개의 전압신호를 인가할 수 있다. 한 개의 전력분배기로 두 단자에 전압을 인가하기 위해서는 전력분배기가 필요한데 자기공명영상을 하는 고주파 대역에서는 동축선을 이용하여 이 전력분배기를 쉽게 구현할 수 있다. 한 쪽이 열린 고주파코일의 경우 전압을 인가하는 단자가 두 개 있기 때문에 그림 2와 같이 서로 동상($V_1 = V_2$), 혹은 역상($V_1 = -V_2$)으로 전압을 인가할 수 있다. 열린 각도가 작은 경우에는 동상으로 인가하는 것이, 그리고 각도가 큰 경우에는 역상으로 인가하는 것이 자계의 균일도를 높일 수 있다. 동상으로 인가할 때 고주파코일의 공명주파수 ω_{in} 와 역상으로 인가할 때의 공명주파수 ω_{out} 는 아래의 식으로 주어진다.

$$\omega_{in} = a_0 \frac{1 - \cos \frac{2\pi}{N}}{1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{a_n}{a_1}\right) \cos \frac{2\pi n}{N}} \quad [1]$$

$$\omega_{out} = a_0 \frac{1 - \cos \frac{\pi}{N}}{1 - \sum_{n=1}^p \left(\frac{a_0}{a_i}\right) \cos \frac{\pi n}{N}} \quad [2]$$

$$a_0 = \frac{1}{C(L+I-M)} \quad [3]$$

$$a_1 = \frac{1}{C(L-2M+M_2)} \quad [4]$$

$$a_i = \frac{1}{C(M_{i-1} - 2M_i + M_{i+1})}, i=2,3,, \quad [5]$$

위 식에서 L 은 고주파코일의 수직 전선 한 개의 인덕턴스를, I 은 수직 전선 사이를 연결하는 호형 전선의 인덕턴스를, M 은 서로 인접한 수직 전선 사이의 상호인덕턴스를, $M_i(i=2,3,,)$ 는 서로 i -번째 떨어진 수직 전선 사이의 상호인덕턴스를 나타낸다.

결 과

그림 3(a)에 일반적인 새장 고주파코일의 중앙 단면에서의 자계분포를 나타내었다. 새장 고주파코일의 수직 전선 길이와 원통의 크기를 같게 하였고 수직 전선의 수는 8로 하였다. 그림 3(b)와 (c)에 열린 각이 각기 90°, 180°인 새장 고주파코일의 중앙 단면에서의 자계 분포를 나타내었다. 그림 (b)와 (c)에서는 열린 쪽의 두 단자에 역상의 전압을 인가하였다. 새장 고주파코일의 한쪽 면을 열고 역상의 전압을 인가하면 원래의 새장 고주파코일에 비해 자계 균일도가 열화되지만 상당한 수준의 자계균일도를 유지하는 것을 알 수 있다. 직경이 30cm인 원통에 새장 고주파코일을 제작하였다. 전선의 수는 8로 하였으며 전선으로는 너비가 1cm인 동판을 사용하였다. 이렇게 만든 새장 고주파코일의 한쪽 면을 열고 (열린 각 $\phi=0$) 두 단자에 동상의 전압과 역상의 전압을 인가했을 때의 공명주파수를 측정하였다. 식 [1]과 [2]로 예측되는 공명주파수와 실제 측정된 공명주파수를 표 1에 나타내었다. 예측된 공명주파수와 측정된 공명주파수는 거의 일치하였다. 코일의 감도를 나타내는 Q 값을 원래 모양의 새장 고주파코일(Case 1)과 한쪽 면을 열고 동상으로 구동한 새장 고주파코일(Case 2)에 대해 측정하였다. 두 경우 모두 Q 값이 약 220 근처로 거의 같았다. 고주파코일을 동상 혹은 역상으로 구동하기 위한 전력분배기는 특성임피던스가 75Ohms인 동축선과 50 Ohms인 동축선을 조합하여 만들었다. 이상의 결과를 보면 개방형 새장 고주파코일의 성능이 원래의 새장 고주파코일에 비해 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

결 론

자기공명영상시스템에서 널리 쓰이고 있는 새장 고주파코일의 한쪽 면을 개방하여 개방형 자기공명영상시스템에서 쓸 수 있는 방법을 연구하였다. 새장 고주파코일의 한쪽 면을 열고 두 단자를 역상의 전압으로 구동하면 열린 각이 크더라도 자계균일도가 크게 열화되지 않음을 확인하였다. 또한 개방형 새장 고주파코일의 성능이 원래의 새장 고주파코일에 비해 거의 같은 수준임을 실험으로 증명하였다. 본 논문에서 제안한 방법으로 고주파코일의 형상을 원통형에 국한하지 않고 임의 형태의 개방형 고주파코일을 만드는데도 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] S. Amari, A.M. Ulug, J. Bornemann, P.C.M. van Zijl, and P.B. Barker, Multiple tuning of birdcage resonators, MRM 37, pp.243-251, 1997.
 [2] C.E. Hayes, W.A. Edelstein, J.F. Schenk, O.M. Mueller, M. Eash, An efficient, highly homogeneous radiofrequency coil for whole body NMR imaging at 1.5T, J. Magn. Reson. 63, pp.622-628, 1985.

	공진주파수 (계산값)	공진주파수 (측정값)	Q 값
원래의 새장 코일	13.65MHz	13.0MHz	220
개방형 새장 코일 (동상 구동)	13.65MHz	13.0MHz	220
개방형 새장 코일 (역상 구동)	8.0MHz	8.2MHz	

표 1 고주파코일의 공진주파수와 Q 값

개방형 구조를 갖는 새장 고주파코일

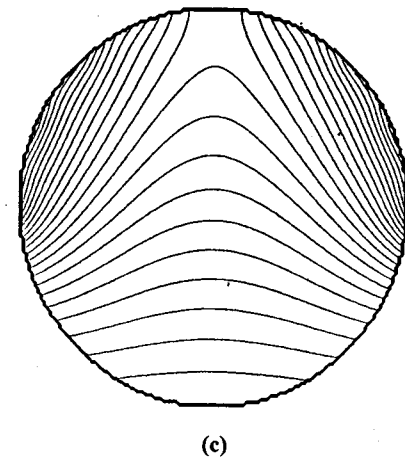
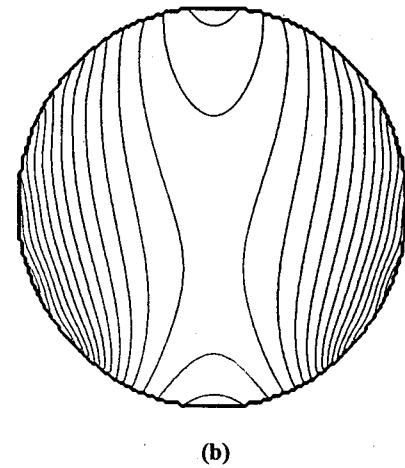
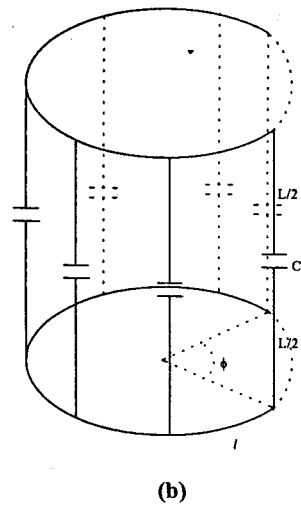
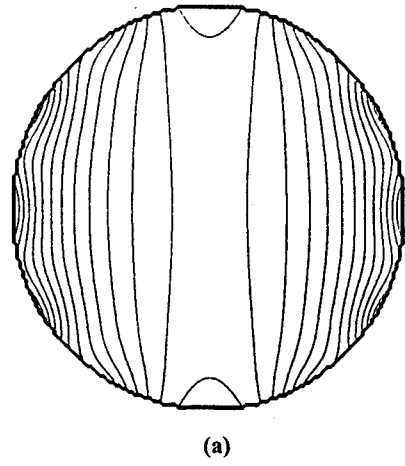
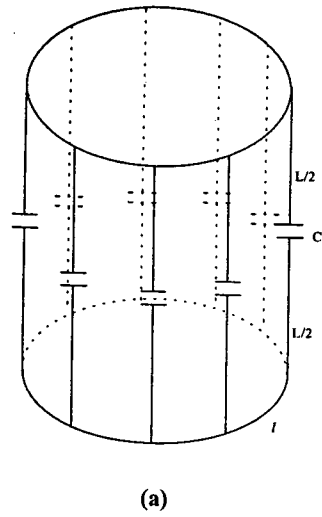


그림 1 (a) 원래 모양의 새장 고주파코일
(b) 개방형 새장 고주파코일

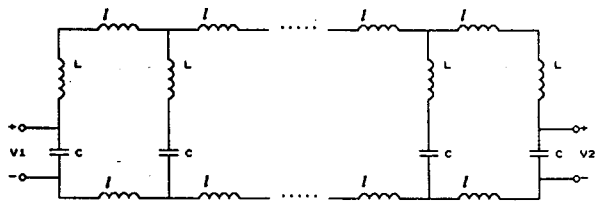


그림 2 개방형 새장 고주파코일의 등가회로

그림 3 개방형 새장 고주파코일의 중앙 단면에서의 자계균일도

- (a) $\phi=0^\circ$ (동상 구동)
- (b) $\phi=90^\circ$ (역상 구동)
- (c) $\phi=180^\circ$ (역상 구동)