

고해상도 피부영상을 얻기 위한 Surface Coil의 예비연구

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실

우동철 · 윤성익 · 윤문현 · 최보영

국내의 MR영상 기술에 있어서 피부영상 및 MR Microscopy에 대한 연구는 있었지만 그 성과는 크게 만족스럽지 못했다. 본 연구는 고해상도 피부 영상을 얻기 위한 Surface coil을 구상하여 제작하고 임상용 MRI 시스템에서 영상을 얻었다. 그러나, 이러한 초기 영상으로부터 시작하여 피부영상 및 미세구조 영상을 얻는 데는 상당한 기술적 제한이 따른다. 기존의 volume형 RF coil보다 surface coil이 비록 자기장 균질도는 떨어지나 우수한 SNR을 얻을 수 있어, 개선의 방향을 coil의 형태를 조정함으로써 고해상도의 영상을 얻을 수 있다. 따라서 Surface coil 제작의 그 첫 단계인 surface coil의 구조에 따른 자기장 분포를 시뮬레이션함으로써 surface coil을 제작하는데 있어 주요 참고자료가 될 것이다.

중심단어: Surface coil, 피부 영상

INTRODUCTION

RF coil은 크게 volume coil과 surface coil로 나뉘는데 volume coil은 임상적으로 심층촬영 및 뇌영상을 얻는데 아주 효과적이며 surface coil은 피부와 같은 극소부위의 영상을 얻는데 상당한 장점을 가지고 있다. 1.5T에서 7 mm이하의 투과력을 보이며 19~70 μ m의 고해상력을 가진 MR장비는 특히 in vivo 영상으로 피부영상을 볼 수 있어 상당한 매력력을 지니고 있다.¹⁾

이미 해외에서는 surface coil을 가지고 임상학적으로 In vivo상에서의 피부 연구를 활발히 진행되고 있다. 1997년 1.5T에서의 피부연구를 위한 RF surface coil로의 제작 및 그에 따른 장치들과 SNR에 관한 연구가 있었으며,²⁾ 이 후 이미 해외에서는 피부조직구조 및 Spectroscopy활용³⁾, 전기적 화상부위⁴⁾, 피부암등의 임상학적 분석과 온도에 따른 SNR향상⁵⁾, surface coil을 이용한 deep organ영상 촬영 기법⁶⁾, 뇌표피 영상 촬영에 적합한 구조의 surface coil개발⁷⁾ 등에 대한 연구 등 surface coil의 성능향상을 위한 연구까지 활발한 연구가 진행 중이다. 반면 현재 국내에는 피부영상 및 안구촬영에 맞는 RF surface coil에 연구가 진행되고 있지만 그 결과는 미진하다. 따라서 본 연구는 3T에서 고해상도의 피부영상을 얻기 위한 surface coil을 제작하고 더 나아가 임상학적 적용 및 분석을 목적으로 coil을 디자인하기 위해 간단한 구조의 surface coil의 자기장분포를 시뮬레이션 하였다.

MATERIALS AND METHODS

Surface coil의 종류는 크게 세 가지로 나눌 수 있고(Fig. 1) 이것은 각기 기능적 특성에 따라 사용되고 있고 본 연구방향은 single-loop surface에 초점을 맞추고 있다. 기본적으로 RF surface coil은 R-L-C회로로 구성되어 있고 RF-pulse를 주는데 있어서 아래 (a)와 같은 surface coil의 경우 공명주파수는 다음과 같이 표현된다.

$$w_r = \frac{1}{\sqrt{(L_{total} - M_{total})C}}$$

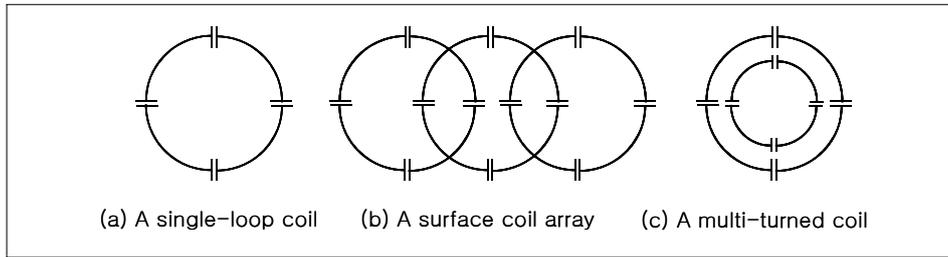


Fig. 1. Surface coil의 형태.

이에 따른 RF-coil 의 자기장 B_1 값은

$$B_{1x} = \frac{\mu_0 I a}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{(a - y \cos \phi') d\phi'}{(a^2 + x^2 + y^2 - 2ay \cos \phi')^{3/2}}$$

$$B_{1y} = \frac{\mu_0 I a}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{x \cos \phi' d\phi'}{(a^2 + x^2 + y^2 - 2ay \cos \phi')^{3/2}}$$

이며 따라서 x-y평면에서

$$(B_1)_{xy} = (B_{1x}^2 + B_{1y}^2)^{\frac{1}{2}}$$

마찬가지로 x-z평면에서는

$$(B_1)_{xz} = B_{1x}$$

이다.

Single surface coil에서는 전류는 일정한 상수값을 가지므로 손쉽게 Biot-Savart's law을 통한 시뮬레이션이 가능하다.

자기장 분포는 2 A (current), 1 mm (Cu wire thickness)에서 surface coil의 diameter를 변수로 하여 Matlab를 이용하여 결과와 같은 데이터를 획득하였다.

RESULTS

Fig. 2 (a)는 x-y 평면에서 본 자기장분포를 3-D로 보았을때 (b)는 y-z평면에서 자기장 분포를 3-D로 보았을때 (c)는 x-y 평면상에서 coil의 자기장 균일도를 본 모습입니다. ring형태의 coil이기 때문에 도선근처에서 자기장의 세기가 급격히 커지는 것을 볼 수 있다.

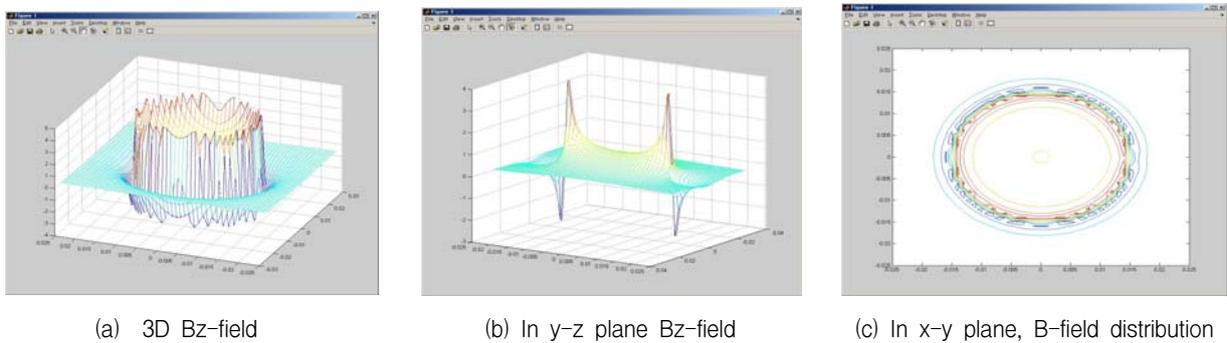
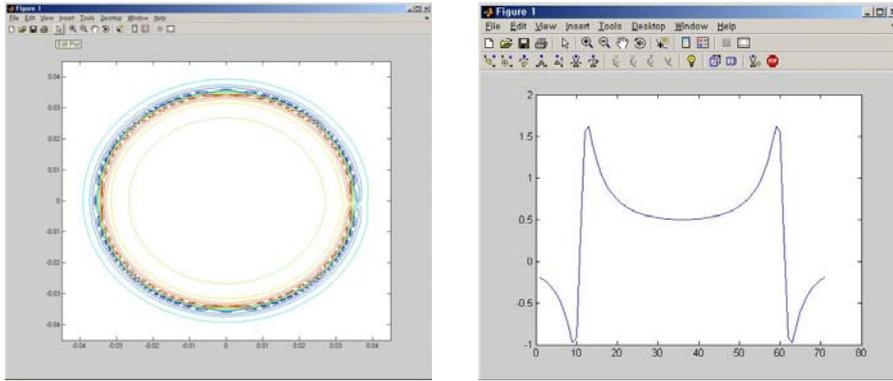
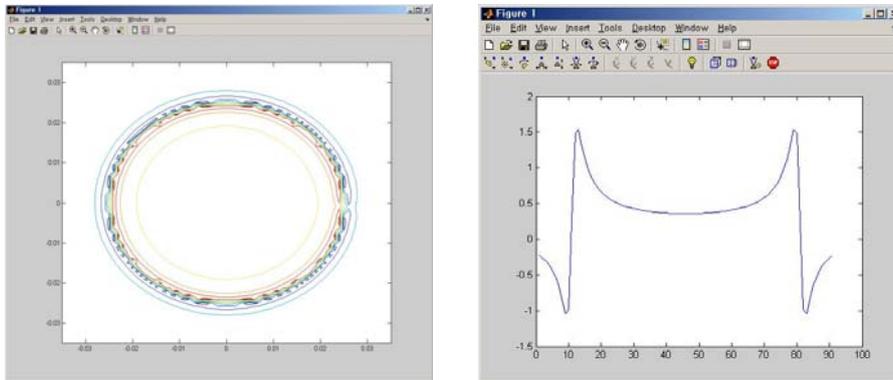


Fig. 2. Diameter 3 cm인 single loop surface coil의 자기장 분포.



(a) Diameter - 5 cm



(b) Diameter - 7 cm

Fig. 3. Coil 크기에 따른 자기장 분포.

Fig. 3 (a)는 직경 5 cm인 surface coil의 x-y평면상에서의 자기장 균일도와 y-z평면상에서 coil의 center를 지나는 직선을 따라 자기장의 분포를 2-D로 나타낸 그림이다. 마찬가지로 (b)는 직경 7 cm일때의 자기장 분포 그래프이다.

DISCUSSION AND CONCLUSION

자기장 시뮬레이션을 통하여 자기장의 분포는 도선 주위에서 급격히 자기장의 세기가 커진다. 또한 surface coil의 크기가 커질수록 균일한 자기장이 차지하는 범위도 커지게 된다. 하지만 surface coil의 크기가 커진다면 SNR또한 낮아질 수밖에 없으므로 이에 대한 논의는 차후의 연구에서 다룰 수 있을 것이다.

간단한 프로그램의 사용으로 앞으로 제작할 surface coil 자기장의 시뮬레이션 결과를 얻었지만 이것은 단지 자기장내에 아무것도 없는 상태에서의 자기장분포를 보여줄 뿐이다. 따라서 직접 MR장비에서 팬텀이나 임상적으로 사용할 때의 자기장분포는 좀 더 심도 있는 분석이 필요로 한다.

앞으로의 연구에 있어서 실제 제작하고 사용하는데 시뮬레이션 방법은 자기장 분포뿐만 아니라 SNR값에도 적용될 수 있을 것이며 제작에 있어서 중요한 참고 데이터가 될 것이다. 이러한 연구과정에 의해서 진행되는 surface coil의 제작은 피부에 대한 임상적 연구뿐만 아니라 현재 활발히 진행되고 있는 생명공학분야까지 양질의 영상을 보여줌으로써 상당한 영향을 줄 것이라 사료된다.

REFERENCES

1. Rallan D, Harland CC: Skin imaging: is it clinically useful? *Clinical and Experimental Dermatology* 29:453-9 (2004)
2. Felix W. Wehrli, Jingfei Ma: *In Vivo MR Microscopy of the Human Skin* (1997)
3. Jan Weis, Anders Ericsson, Gunnar Åstrom, Pavol Szomolanyi, Anders Hemmingsson: High-resolution spectroscopic imaging of the human skin. *Magnetic Resonance Imaging* 19:275-8 (2001)
4. Thali MJ, Dirnhofer R, Becker R, Oliver W, Potter K: Is dvirtual histologyT the next step after the dvirtual autopsyT? *Magnetic resonance microscopy in forensic medicine. Magnetic Resonance Imaging* 22:1131-8 (2004)
5. Rama Jayasundar, Laurance D. Hall, Norman M. Bleehen: RF coils for combined MR and hyperthermia studies: II. MR coil as an hyperthermic applicator. *Magnetic Resonance Imaging* 19:117-22 (2001)
6. Tomanek B, Ryner L, Hoult DI, Kozlowski P, Saunders JK: Dual surface coil with high-B₁, homogeneity for deep organ MR imaging. *Magnetic Resonance Imaging* 15:1199-204 (1997)
7. Xiaoliang Zhang, Kamil Ugurbil, Wei Chen: Microstrip RF surface coil design for extremely high-field MRI and spectroscopy. *Magnetic Resonance in Medicine* 46:443-50 (2001)

Preliminary Study of RF Surface Coil to Get High Resolution Skin Image

Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, The Catholic University of Korea

Dong-Cheol Woo, Seong-Ik Yoon, Moon-Hyun Yoon, Bo-Young Choe

In our country, the skin image and MR Microscopy research has been processed but there were not their outstanding results. So this study start to improve the techniques can get high resolution skin images and to make RF surface coils. Volume coils are sometimes unavailable, or do not provide adequate RF power or SNR for some applications. In high resolution skin and tissue structure images current coils have a technical limitation. It is well known that standard single-loop surface coils, although offering high SNR characteristics, have poor B₁ homogeneity. As the RF surface coil need change its geometry we get improved images. So, The magnetic field simulation that is first step to make and design RF surface coil will support reference data.

Key words: Surface coil, Skin image