

# FDTD 방법을 이용한 MRI Birdcage RF Coil의 Endcap 효과 분석

김경남<sup>1,2</sup> · 정성택<sup>1</sup> · 박부식<sup>1</sup> · 신윤미<sup>1</sup> · 곽준식<sup>1</sup> · 조종운<sup>1</sup>

**목적** : 자기공명영상(MRI)에서 두부영상촬영을 위하여 가장 많이 사용되는 birdcage RF (Radiofrequency) 코일의 RF B1 필드가 코일 중앙부에서 endring영역으로 갈수록 줄어드는 것을 볼 수 있다. Birdcage RF 코일에서 endcap 쉴드가 코일 중앙부에서 endring영역으로 갈수록 RF B1 필드 균질성에 얼마나 영향을 주는지에 대하여 분석하였다.

**대상 및 방법** : Lowpass, highpass, hybrid birdcage RF 코일들에 대해 각각 FDTD (Finite Difference Time Domain) 모의실험으로 RF B1 자속밀도 분포를 비교하였다. 모의 실험결과 RF B1 필드가 가장 높은 조건인 highpass birdcage RF 코일을 선택하여 RF 코일 endring 근처에 endcap 쉴드를 적용함으로써 RF B1 균질성에 얼마나 영향이 있는 지 조사하였다.

**결과** : FDTD 모의실험결과 highpass birdcage RF 코일은 코일 내부에서 RF B1 필드가 lowpass나 hybrid 형태의 birdcage RF 코일들 보다 우수하나 코일 중앙부에서 endring 영역까지의 균질성은 떨어졌다. 그러나 highpass birdcage RF 코일에 endcap 쉴드를 적용하면 hybrid birdcage RF 코일의 RF B1 필드와 비슷한 수준이면서 sagittal 방향의 전체적인 RF B1 균질성은 우수하였다.

**결론** : 본 논문에서 제안한 방법은 임상에서 MRI 자장의 세기가 커질수록 RF 코일 내부의 RF B1 균질성이 현저히 떨어지는 문제점이 있는데 이를 개선하는데 적용 할 수 있다고 사료된다.

## 서 론

MRI 두부영상촬영에서 다른 형태의 RF 코일보다 birdcage RF 코일은 volume내에서 RF B1 필드와 그 균질성이 우수하기 때문에 가장 많이 사용되어지고 있다. Birdcage RF 코일은 튜닝 캐패시터의 위치에 따라 lowpass birdcage RF 코일, highpass birdcage RF 코일, hybrid birdcage RF 코일로 분류된다 (Fig. 1) (1).

본 논문에서는 두부영상촬영을 위한 birdcage RF 코일을 3 가지 형태에 대하여 FDTD 시뮬레이터를 이용하여 모의실험을 하였으며, 그 중에서 코일 내부의 RF B1 필드가 가장 높은

highpass birdcage RF 코일에 endcap 효과를 주어 코일 중앙부에서 endring 영역으로 갈수록 RF B1 필드의 균질성이 얼마나 개선되는지에 대하여 기술하였다.

기존의 논문에서는 3T MRI용으로 설계된 birdcage RF 코일 (직경: 278 mm)에 코일 전체 쉴드에서 endcap이 분리되어 있고 endcap이 두부영상촬영 전용 gradient 코일에 맞추어져 있었으며, 그 직경도 376 mm(길이: 260 mm) 정도로 birdcage RF 코일 (직경: 278 mm)보다 큰 불편함이 있었다(2). 이러한 방법들로 실제 RF 코일을 제작한다면 쉴드로 인해 코일의 전체적인 크기가 커질 것이며, 코일 leg 쪽 부분이 막혀 환자의 두부 영상촬영시에 환자에게 공포감을 줄 수 있어 어려움이 있을 것으로 예상된다.

대한자기공명과학회지 7:137-143(2003)

<sup>1</sup>(주)메디너스,

<sup>2</sup>경희대 동서의학대학원 의료공학전공

접 수 : 2003년 11월 1일, 채 택 : 2003년 12월 13일

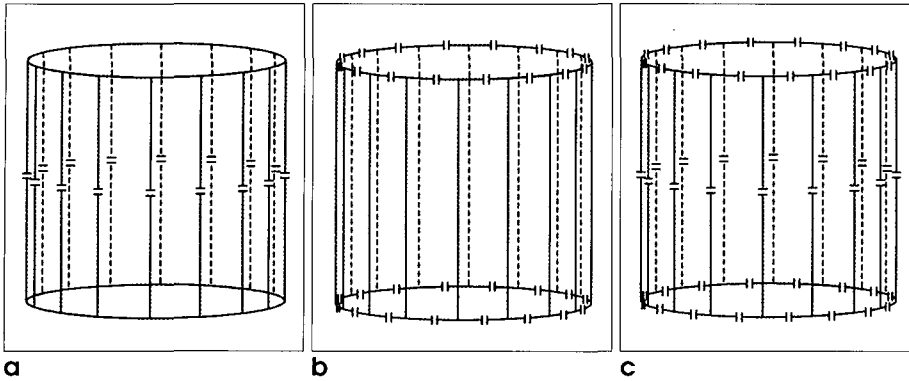
통신저자 : 김경남, 경기도 용인시 포곡면 굽어리 565번지 (주)메디너스 MRI 연구소

Tel. 82-31-329-4052 Fax. 82-31-329-4010 E-mail: knkim@medinus.co.kr

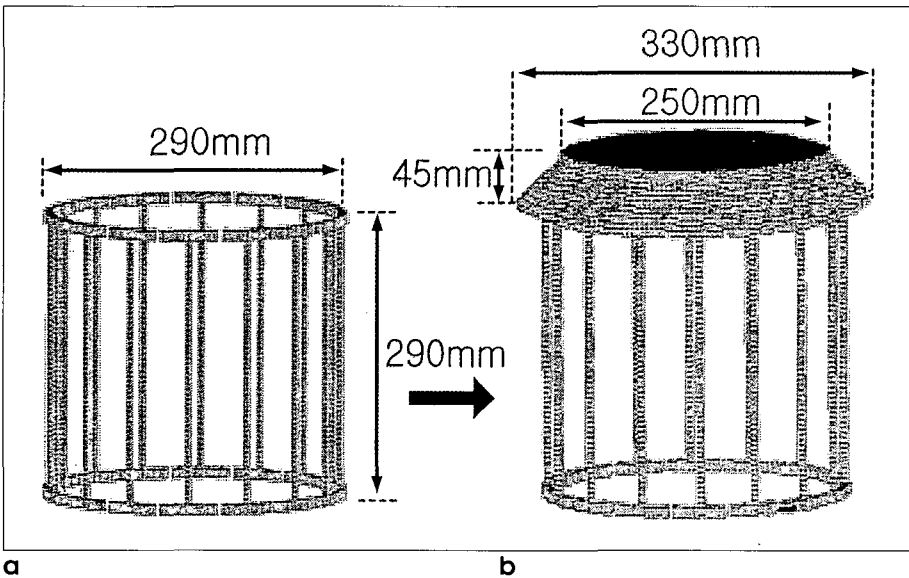
김경남 외

본 논문에서는 실제 임상으로 사용할 수 있는 1.5T MRI birdcage RF 코일 (직경:290 mm)과 비슷한 직경을 갖는 endcap 쉴드를 (직경:330 mm, 길이: 45 mm) 간단하게 설계

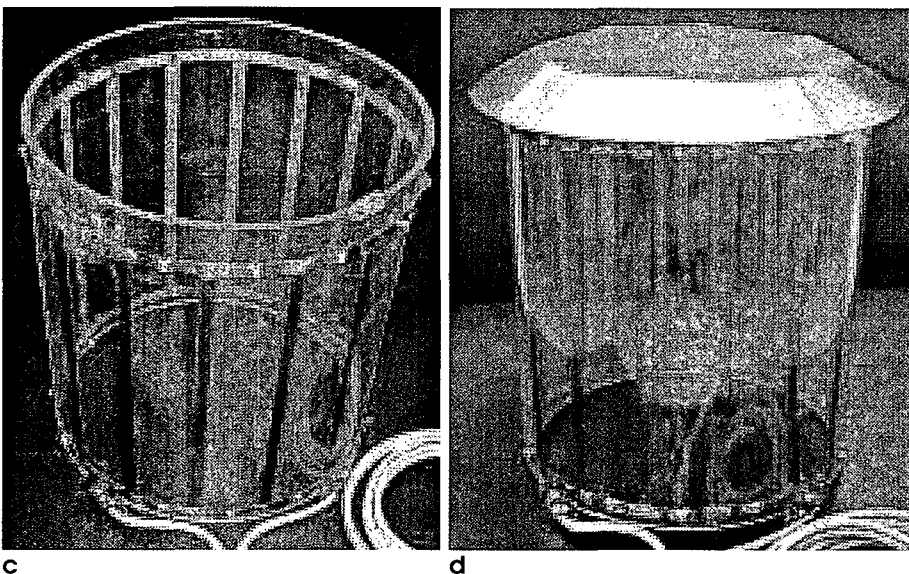
하였다. Birdcage RF 코일은 high frequency로 올라갈수록 RF B1 필드의 균질성이 코일 중앙에서 endring 쪽으로 갈수록 감소 경향이 강하게 나타남으로 3T 보다 1.5T 에서는 RF B1



**Fig. 1.** Birdcage RF coil circuit structure. (a) Lowpass birdcage RF coil (b) Highpass birdcage RF coil (c) Hybrid birdcage RF coil.



**Fig. 2.** Highpass birdcage RF coil structure (a) Highpass birdcage RF coil without endcap shield (b) Highpass birdcage RF coil with endcap shield (c) Picture of experimental highpass birdcage RF coil without endcap shield (d) Picture of experimental highpass birdcage RF coil with endcap shield.



필드 감쇠 경향이 적지만, 필드의 균질성을 통하여 임상적 유용성을 확인할 수 있다. 이는 실제 임상 적용에 RF 코일 쉴드 없이 간단한 endcap 쉴드만을 적용할 수 있게 설계 되었으며 gradient 코일 내에서 RF 코일이 코일 쉴드로 인해 많은 공간을 확보하는 것을 줄일 수 있는 장점이 있다.

**대상 및 방법**

**Birdcage RF Coil without Endcap**

FDTD 모의실험을 하기 위하여 16-leg birdcage RF coil을 사용하였고 직경과 길이는 각각 290 mm로 하였다. FDTD 모의 실험을 위해 birdcage RF 코일은 1.5T MRI용 (63.87 MHz)으로 설계가 되었고, 코일의 입력은 90°의 위치에서 각각 90°의 위상차이를 갖고 1V로 입력된다.

실제 birdcage RF 코일을 제작하여 MR 영상을 1.5T MR 영상장치 (Magnum 1.5T, Medinus, Korea)을 사용한다.

**Birdcage RF Coil with Endcap**

Highpass birdcage RF 코일은 코일 내부에서 RF B1 필드가 lowpass나 hybrid 형태의 birdcage RF 코일들 보다 우수하나 코일 중앙부에서 endring 영역까지의 균질성은 떨어진다. 이를 보완하기 위하여 코일의 한 쪽면에 endcap 쉴드를 사용하여 모의실험을 하였다. 그 구조는 Fig. 2와 같다. 여기에서 endcap의 재질은 동판이며 두께는 5 mm로 접시 모양을 하고 있다. Endcap의 전체 직경은 330 mm이고 높이는 45 mm, 접시 모양의 바닥면의 직경은 250 mm 이다. Highpass birdcage RF 코일에 endcap을 씌우면 코일의 전체 캐패시턴스가 올라가 공진 주파수가 내려간다. 내려간 공진 주파수는 코일의 튜닝 캐패시터를 조정하여 63.87 MHz (1.5 Tesla) 공진주파수에 맞춘다 (Fig. 3). Fig. 3은 주파수에 따른 admittance를 나타낸 것으로 16-leg birdcage RF 코일에서는 mode가 9 개가 형성이 되고 각 mode 별로 RF B1 필드의 균질성 차이를 보이게 되어 공진주파수를 dominant mode에 맞추어야 한다.

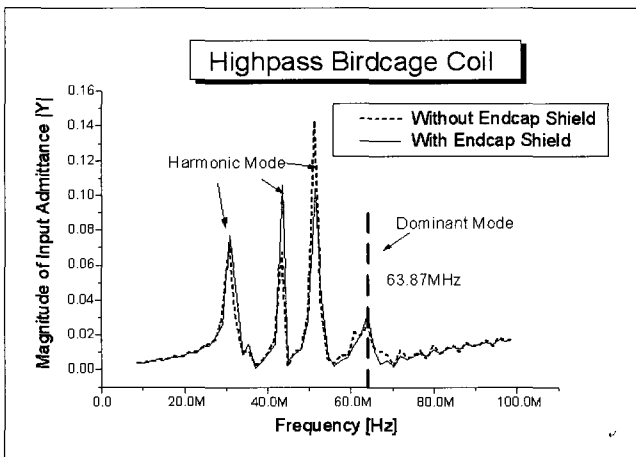


Fig. 3. Magnitude of the input admittance of highpass birdcage RF coil with endcap shield and without endcap shield.

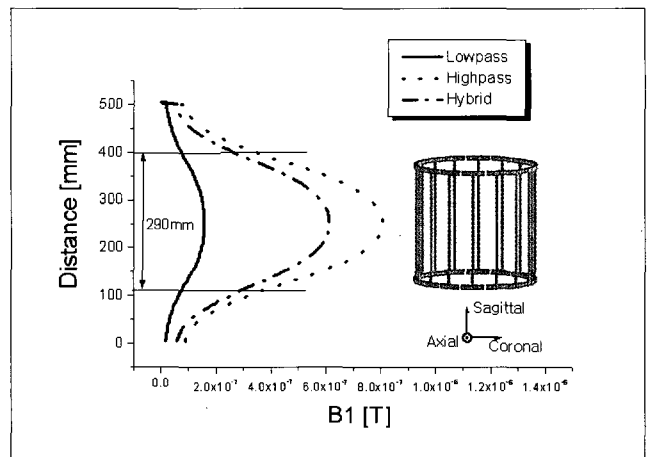


Fig. 4. The RF B1 field of distance in the coil.

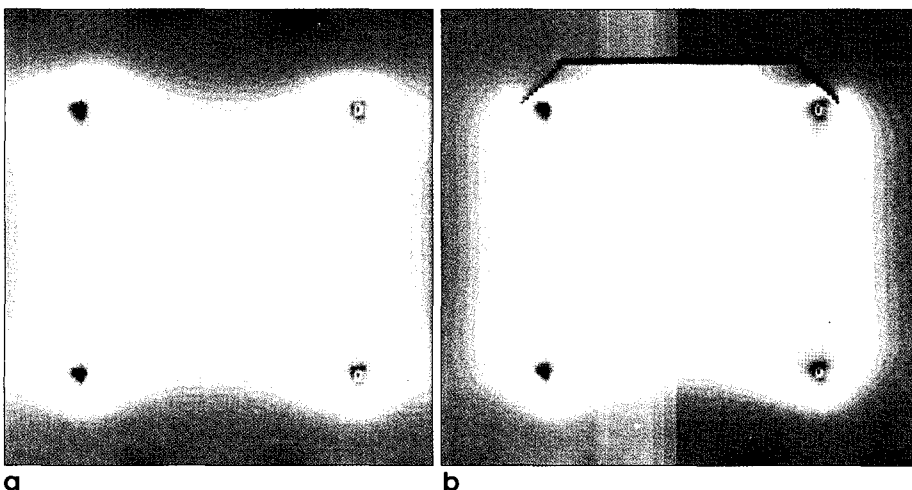


Fig. 5. Comparison of RF B1 field to z-axis direction. (a) Highpass birdcage RF coil without endcap shield (b) Highpass birdcage RF coil with endcap shield.

실제 endcap 쉴드가 있는 birdcage RF 코일을 제작하여 MR 영상을 하여 endcap 쉴드가 없는 birdcage RF 코일과 비교 한다.

**결 과**

**Birdcage RF Coil without Endcap**

모의실험 결과 코일 내부의 RF B1 필드는 highpass birdcage RF 코일이 가장 높으며 다음으로는 hybrid birdcage RF 코일이며 lowpass birdcage RF 코일이 3가지 경우 중 RF B1 필드가 가장 낮다. 또한 코일의 Z축 방향으로 전체적인 RF B1 필드의 균질성은 lowpass birdcage RF 코일이 가장 좋으며 hybrid birdcage RF 코일, highpass birdcage RF 코일 순이다 (Fig. 4). 여기서 코일 내부의 Z축 방향으로 전체적인 RF B1 필드의 균질성은 코일 중앙부와 endring 영역 사이의 RF B1 필드를 비교 한 것이다.

**Birdcage RF Coil with Endcap**

Fig. 5(a)는 쉴드가 없는 highpass birdcage RF 코일의 Z축 방향의 RF B1 필드를 나타낸 것이고 Fig. 5(b)는 endcap 쉴드를 갖는 highpass birdcage RF 코일의 RF B1 필드를 나

타낸다. Fig. 5(b)는 Fig. 5(a)보다 코일 내부에서 RF B1 필드 특성이 더 균질한 것을 볼 수 있다. Fig. 6은 Fig. 5를 비교하기 위하여 한 그래프상에 그린 것이다. Fig. 6에서 보듯이 endcap 쉴드가 없는 코일은 중앙부에서 endring 쪽으로 갈수록 RF B1 필드가 57.3% 감소하는 반면 endcap 쉴드가 있는 코일은 35.6% 감소한다. 여기서 코일 내부의 RF B1 필드는 31% 감소하나 전체적인 균질성이 좋아지는 것을 확인 할 수 있다.

MRI 두부영상촬영에서 두부의 끝쪽으로 갈수록 RF B1 필드 밀도가 현저히 떨어지는 것을 볼 수 있는데 이는 endcap 쉴드를 사용하여 그 단점을 보완 할 수 있음을 보여 준다.

Birdcage 코일 내에서 실제 영상에 필요한 영역은 중앙부에서 220 mm 되는 영역이다. Fig. 7에서는 실제 MRI 두부영상 촬영에 필요한 220 mm 되는 영역에서의 RF B1 필드와 균질성을 나타낸다. Fig. 7에서 보듯이 endcap 쉴드가 없는 코일은 중앙부에서 220 mm 경계쪽으로 갈수록 RF B1 필드가 34.2% 감소하는 반면 endcap 쉴드가 있는 코일은 21.7% 감소한다.

Fig. 8은 axial 단면의 RF B1 필드 특성을 보는 것으로 (a)는 코일의 중앙이며 (b)는 코일의 중앙에서 70 mm 위쪽면을 보는 구조이다. Fig. 8의 방법으로 endcap 쉴드가 있을 때와 없을 때의 RF B1 필드는 Fig. 9에서 비교하였다.

Fig. 9에서는 axial 단면에서의 RF B1 필드를 비교한 것이

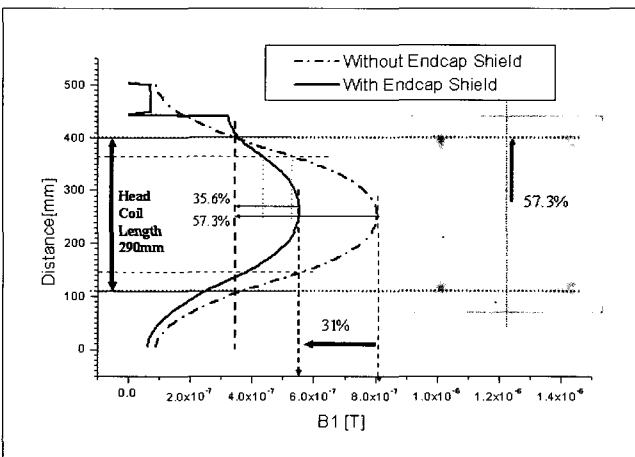


Fig. 6. RF B1 field of distance in the coil.

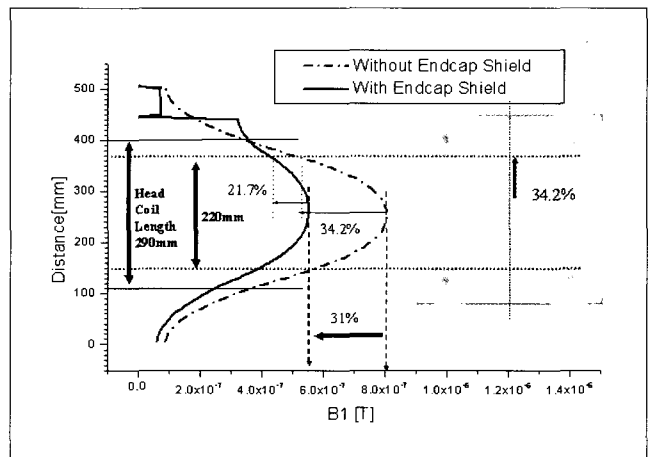


Fig. 7. RF B1 field of distance in the coil (220 mm region).

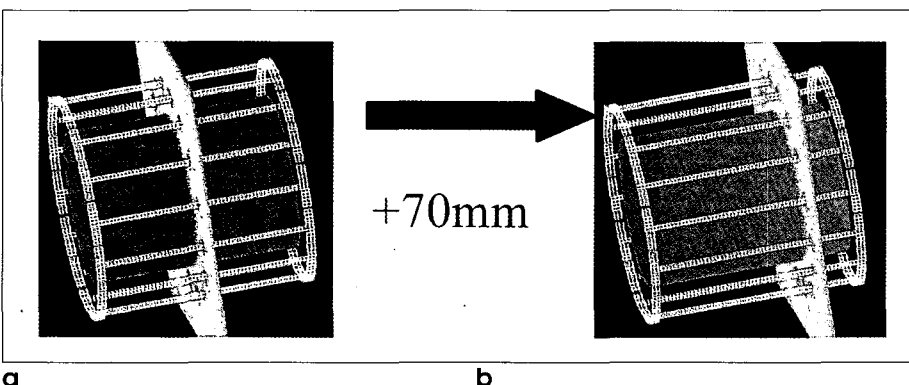


Fig. 8. (a) Axial section of coil center (b) Axial section of 70 mm above coil center.

## FDTD 방법을 이용한 MRI Birdcage RF Coil의 Endcap 효과 분석

다. Endring에 가까워 질수록 코일 중심부의 RF B1 필드는 코일 leg 쪽 보다 급격히 감소한 것을 볼 수 있는데 이는 endcap 쉴드가 있을 때 보다 없을 때 그 감소율이 더 큰 것을 알 수 있다.

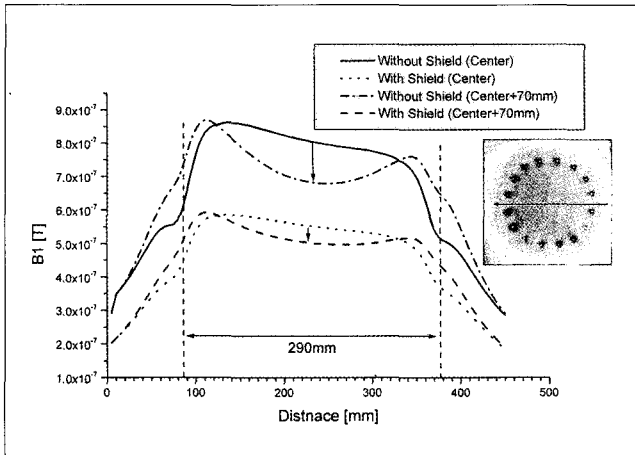


Fig. 9. Comparison of RF B1 field to axial section

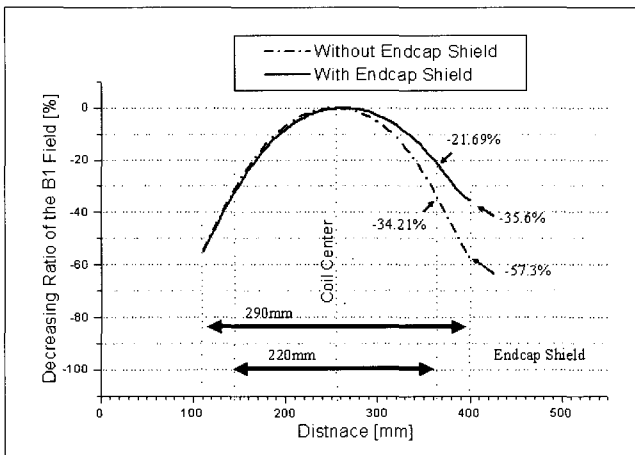


Fig. 10. Decreasing ratio of the RF B1 field.

RF B1 필드의 감소율은 Fig. 10에 잘 나타나 있으며, Fig. 10은 코일 중심부를 기준으로 하여 코일 내부에서의 RF B1 필드 감소율을 나타낸 것이다.

Fig. 11은 highpass birdcage RF 코일, endcap 쉴드가 있는 highpass birdcage RF 코일, hybrid birdcage RF 코일의 거리에 따른 RF B1 필드를 비교한 것이다. 여기서 highpass birdcage RF 코일에 쉴드를 적용하면 RF B1 필드는 hybrid birdcage RF 코일과 비슷한 수준으로 감소하나 RF B1 필드의 균질성은 우수한 것으로 나타났다.

Fig. 12는 highpass birdcage RF 코일로 실제 MRI 두부영상촬영을 한 결과로 endcap 쉴드를 갖는 highpass birdcage RF 코일(b)는 endcap 쉴드를 갖고 있지 않은 코일(a) 보다 RF B1 필드의 균질성을 볼 수 있다.

## 토의 및 결론

MRI 두부영상촬영에 가장 많이 쓰이는 highpass birdcage RF 코일은 lowpass, hybrid birdcage RF 코일보다 RF B1

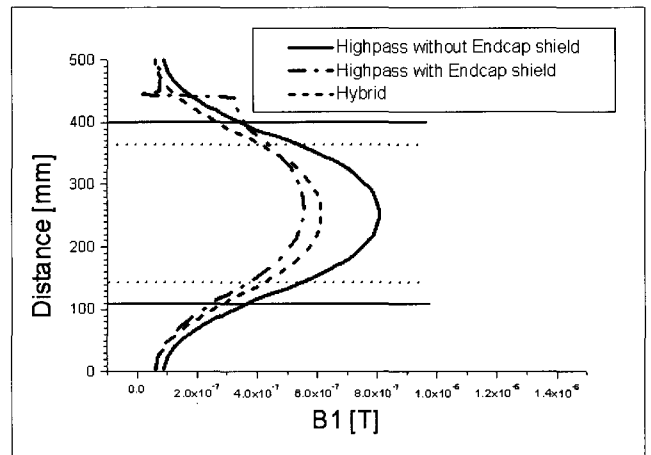


Fig. 11. RF B1 field of distance in the coil.

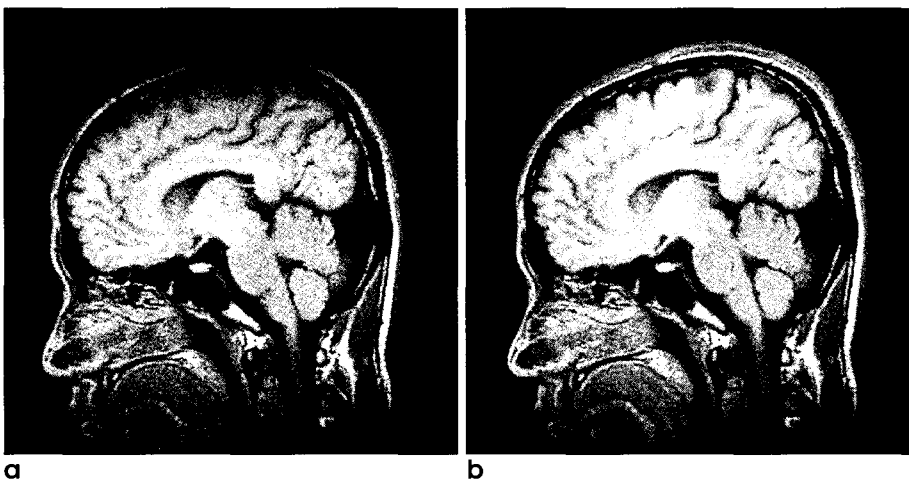


Fig. 12. (a) Highpass birdcage RF coil without endcap shield (b) Highpass birdcage RF coil with endcap shield.

## 김경남 외

필드가 가장 높았으나 Z축 방향으로 그 균질성은 다른 형태의 코일들에 비해 가장 낮은 것으로 나타났다. 이러한 단점을 보완하기 위해 endcap 쉘드를 코일의 endring 부근에 적용함으로써 RF B1 필드의 균질성을 향상시킬 수 있지만 코일 내부의 전체적인 RF B1 필드를 감소시키는 경향이 있다. 이러한 문제점은 birdcage RF 코일의 leg수를 증가시키는 방법과 Litzcage RF coil 형태를 적용하는 방법 등을 이용하여 RF B1 필드의 향상시켜 이러한 문제점을 해결할 수 있을 것이라 사료된다.

모의실험을 통해 endcap 쉘드를 갖는 highpass birdcage RF 코일을 사용하는 것이 hybrid birdcage RF 코일의 RF B1 필드와 비슷한 수준이면서 Z축 방향의 전체적인 RF B1 필드의 균질성을 우수하게 할 수 있는 것을 알 수 있다. 이러한 방법은 MRI에서 자장의 세기가 커질수록 임상시에 RF 코일 내부에서 RF B1 필드의 균질성이 현저히 떨어지는 문제점이 있는데 이를 개선하는데 적용할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. Jin JM, Electromagnetic analysis and design in magnetic resonance imaging. CRC press, 1999
2. Alecci M, Collins CM, Wilson JL, Liu W, Smith MB, Jezzard P.

Theoretical and experimental evaluation of detached endcaps for 3T birdcage coils. *Magnetic Resonance in Medicine* 2003; 49:363-370

3. Alecci M, Collins CM, Smith MB, Jezzard P. Radio frequency magnetic field mapping of 3 T birdcage coil: experimental and theoretical dependence on sample properties. *Magn Reson Med* 2001;46:379-385
4. Clare S, Alecci M, Jezzard P. Compensating for B1 inhomogeneity using active transmit power modulation. *Magn Reson Imaging* 2001;19:1349-1352
5. Hardley JR, Chanpman BE, Roberts JA, Champman DC, Goodrich KC, Buswell HR, Alexander AL, Tsuruda JS, Parker DL. A three-coil comparison for MR angiography. *J Magn Reson Imaging* 2000;11:458-468
6. Barberi EA, Gati JS, Rutt BK, Menon RS. A transmit-only/receive-only(TORO) RF system for high-field MRI/MRS application. *Magn Reson Med* 2000;43:284-289
7. Alecci M, Jezzard P. Characterisation and reduction of gradient-induced eddy currents in the RF shield of a TEM resonator. *Magn Reson Med* 2002;48:404-407
8. Collins CM, Li S, Smith MB. SAR and B1 field distributions in a heterogeneous human head model within a birdcage coil. *Magn Reson Med* 1998;40:847-856

## Analysis of Endcap Effect for MRI Birdcage RF Coil by FDTD Method

Kyoung-Nam Kim<sup>1,2</sup>, Sung-Taek Chung<sup>1</sup>, Bu-Sik Park<sup>1</sup>, Yoon-Mi Shin<sup>1</sup>,  
June-Sik Kwak<sup>1</sup>, Jong-Woon Cho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Medinus Co., Ltd

<sup>2</sup>Bio Medical Engineering, Graduate School of East-West Medical Science, Kyung Hee University

**Purpose :** B1 field of birdcage RF (radiofrequency) coil that is used most for brain imaging in magnetic resonance imaging (MRI) decreases toward endring from the coil center. We investigated how much RF B1 homogeneity effect the endcap shield brings form the coil center as it towards to endcap region.

**Materials and Methods :** We compared RF B1 field distribution by each finite difference time domain (FDTD) simulations for lowpass, highpass and hybrid birdcage RF coils. We selected the highpass birdcage RF coil that was the highest RF B1 field condition as simulation result, and studied how much RF B1 homogeneity effect was occurred when endcap shield was applied to endring area.

**Results :** B1 field of the highpass birdcage RF coil was higher than other birdcage RF coil types as simulation result. However, the RF B1 homogeneity was lower than other coil types. RF B1 field of highpass birdcage RF coil with endcap shield is similar with RF B1 field of hybrid birdcage RF coil and the overall RF B1 homogeneity in sagittal direction was better.

**Conclusion :** In this paper, proposed method can apply improving RF B1 homogeneity of RF coil in clinical examination.

**Index words :** Birdcage RF Coil, Endcap Shield, FDTD

Address reprint requests to : Kyoung-Nam Kim, *Medinus*

565 Keumeo-Ri, Pogok-Myeon, Yongin-Si, Kyounggi-Do, 449-810, Korea.

Tel. 82-31-329-4052 Fax. 82-31-329-4010 E-mail: knkim@medinus.co.kr