

공간선택을 위한 차폐된 두뇌촬영용 r^2 -경사자계코일의 설계와 제작

오창현, 양윤정, 김선경, 이윤, 안창범*, 이흥규**

고려대학교 전자 및 정보공학부, 광운대학교*, (주) 메디슨**

목 적: 본 논문의 목적은 Brain MRI/MRS를 위한 공간선택용 소형 r^2 -경사자계코일을 개발하는 것이다. MRS에서는 공간선택을 위해, MRI에서는 FOV를 줄이기 위해 Spatial localization은 매우 효율적이다. 특히 Radial (또는 r^2 -) 경사자계코일은 공간 선택을 위한 RF 펄스의 개수를 줄여 공간선택 중 생기는 artifact를 줄이고 SNR을 크게 하는 등의 장점을 가지고 있다. whole-body 상용시스템에서는 실제로 유용하게 쓰일 정도의 크기를 가진 경사자계의 크기를 만드는 것이 어려워 과거에는 동물실험용 small-bore system에서나 사용되었으나 이 논문에서는 인체의 두뇌 MRI나 MRS에 유용한 35 cm의 적은 직경을 가진 코일을 설계, 제작하여 실험적으로 그 성능을 입증하였다.

대상 및 방법: 두뇌의 촬영을 위한 r^2 gradient 코일은 적은 직경의 primary layer(직경 34cm)와 차폐를 위한 shield layer (직경 45cm)로 이루어져 있다. 그 전류분포는 Target field approach를 적용하여 최소전력 방법으로 다음과 같이 설계하였다. Primary coil의 전류분포 $i_p(z)$ 에 의해 발생하는 임의의 위치 (x_0, y_0, z_0) 에서의 Z방향 자기유도의 크기 B_z 는 아래와 같이 주어진다.

$$B_z(x_0, y_0, z_0) = \int_z i_p(z) B_r(x_0, y_0, z_0; r_p, z - z_0) + i_p(z) \int_{z'} i_s(z' - z) B_r(x_0, y_0, z_0; r_s, z' - z_0) dz' dz.$$

여기서 r_p, r_s 는 각각 primary, shield layer의 반지름, $B_r(x_0, y_0, z_0; r, z_1)$ 는 $z=z_1$ 에 위치한 반지름 r 의 1A Loop current element에 의한 (x_0, y_0, z_0) 에서의 z방향 자기유도의 크기이며, $i_s(z)$ 는 $z=0$ 에 위치한 1-Amp 1-Loop primary 코일을 차폐하는 차폐전류의 분포이다. 여기에서 B_z 의 Target 위치에서의 조건을 만족하며 $\int_z i_p^2(z) dz$ 를 최소로 하는 $i_p(z)$ 를 Lagrange Multiplier를 사용하여 구한다.

결 론: 반지름 0, 2, 6 cm에서의 Field를 Target field로 주었으며 전체 길이는 70 cm로 제작하였다. 원통형 아크릴 frame에 3.0 mm 연동선을 감아 에폭시로 고정하였으며 그 성능을 실험으로 측정하여 확인하였다. 100 Amp의 전류로부터 0.7 G/cm^2 의 r^2 -gradient를 얻을 수 있었으며 active shielding 효과는 초전도자석의 제일 안쪽에 위치한 conducting surface의 직경을 90cm로 가졌을 때 99 % 이상이었다 (eddy current는 1 % 이내로 줄어듦). 실험 결과는 이론으로 추정된 결과와 일치하였다. 이 r^2 -경사자계코일과 함께 사용할 수 있도록 직경 27 cm의 8-rod Birdcage RF 코일 (High-Pass, quadrature)도 제작하였다. Unloaded Q는 510, loaded Q는 162이었다. 제작된 r^2 -경사자계코일과 RF코일은 공간선택에 의한 MRI 또는 MRS에 매우 유용할 것으로 보이며 현재는 1.0Tesla whole-body MRI시스템의 내부에 장착하여 실험중이다.