

2차원 배열 자기저항접합을 이용한 공간 맥진파형의 전산모사 분석
(Simulation Analysis of Spatially Arterial Pulse Wave using Two-dimensional Array
Sensors with Magnetic Tunnel Junctions)

김미선¹, 김선욱², 이진용¹, 윤문성⁶, 김기왕³, 이수진³, 이선구³, 이현숙^{1,4},
박달호^{1,5}, 황도근^{1,5}, 이상석^{1,5*}

¹상지대학교 대학원 기능성전자소재학과, ²한외과대학 한방의학연구소, ³한외과대학 한의학과,

⁴한방의용공학과, ⁵응용물리전자학과, ⁶코리아해커, 강원도 원주시 우산동 220-702

본 연구는 동맥의 맥박에 대한 공간적 특징을 얻기 위해서 자기저항소자들 중 하나인 자기터널접합 (magnetic tunnel junction; MTJ)의 2차원 배열(5 × 8) 센서 방식을 제안하였다. 맥의 파형에 의해 변하는 위치를 감지하기 위해 피부상의 영구자석 층의 자기장세기 변위와 함께 변화시켰으며, 2차원 자기장 유한요소해석 소프트웨어(finite element method magnetics; FEMM)를 이용하여 영구자석의 최적화 배열을 얻는 모의실험 결과를 논의하였다.

MTJ 센서는 1 mm × 1 mm 의 크기로 만들었고, 센서의 그 자기장 감응도는 50 Oe 이내에서 0.35 %/Oe 이다. 맥박 검출방식은 여과기와 A/D 변환기, 신호 예비 증폭기와 함께 Lee *et al.* 연구 그룹에 의해 이전에 개발되어 보고된 MTJ 센서로 구성되어있다. SPDA의 공간분석을 위한 전산모사는 5 × 8 배열의 2차원 센서를 부착하기 전에 1차원 영구자석 배열의 유한요소해석에 의해 실행되었다. 이로써 MTJ 센서가 영구자석의 진동에 일치하고 있다는 개념에 기반하여 같은 위치에 있는 1개의 센서와 하나의 자석은 맥박신호의 하나의 요소를 만든다.

각 센서에 기본적으로 사용되는 MTJ 구조는 터널링 자기저항비(tunneling magnetoresistance; TMR) = 17.5 %를 가진 Ta(50 Å)/NiFe(120 Å)/FeMn(200 Å)/NiFe(40 Å)/CoFe(30 Å)/Al₂O₃(20 Å)/NiFe(40 Å)/CoFe(30 Å)/Si(100 Å) 다층박막을 적용하였다.

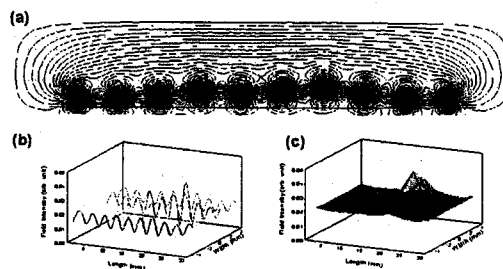


Fig. 1. (a) Magnetic field distribution for permanent magnet array simulated by finite element method magnetics (FEMM), (b) magnetic field intensities for the 5 columns permanent magnet array, and (c) 3-dimensional distribution surface.

Fig. 1(a)는 맥진파형에 대응하는 임의의 영구자석 배치에 따른 자장분포의 유한요소해석에 의해 전산 모사실험 결과를 보여준다. Fig. 1(b)는 5단의 영구자석 배열에 의한 자기장의 세기의 분포를 나

타내며, Fig. 1(c)는 2차원 자기저항 센서 면에서 얻어지는 자기장의 3차원 분포도를 나타내었다. 임의의 맥진파형에 대한 자석의 수직 위치를 묘사하기 위하여, 5×10 자석 요소 중에 (3, 7)위치의 자석을 최대의 진폭을 갖도록 배치한 후 유한요소해석으로 계산하였다. 기준 상태에서의 자기장세기 에 대한 자극 방향에 따른 의존성은 자극이 수직 또는 수평의 배열에 대해서 해석한 결과, 수직의 배열 보다 오히려 수평의 자석배열의 자기장세기 분포가 민감하며, 균일 하였다.

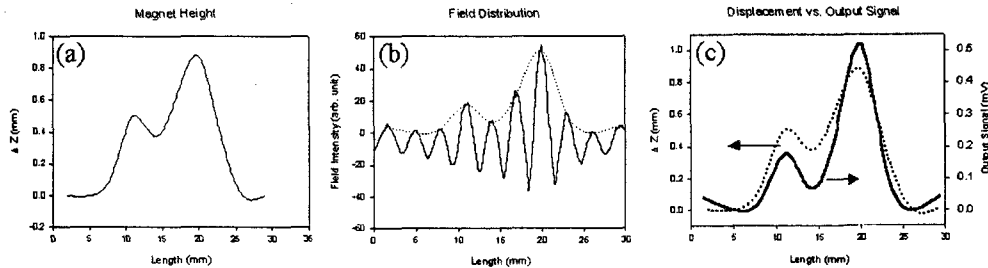


Fig. 3. (a) The height of permanent magnets, (b) the magnetic field intensity distribution, and (c) the displacement of magnets/TMR sensing voltages along a spatial length.

따라서 진단부위에 동맥 확장-수축시 맥파의 변화에 따른 영구자석의 수평 배열들의 높이 변화로부터 맥의 공간적 정보를 얻을 수 있는 적절한 방법임을 알 수 있다. 이것은 혈압과 파형 속도에 대해서만 해석을 한 전통적인 맥진과 구분될 것으로 사료된다.

Fig. 3는 (a)자석의 수직 변위와 (b)변위에 따른 자기장 분포 및 (c)자기장 분포에 따른 TMR 감지 전압의 변위를 보여준다. 영구자석은 최대 1 mm의 공간 변위를 발생시키며, 이것을 기준으로 자기장 분포의 변화에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 그림 4(b)에서 보여주는 것과 같이 영구자석에 따른 자기장의 공간 분포를 계산하였으며, 점선은 2차원 센서 면에서 얻어지는 값을 나타낸다. 센서의 위치에서 측정되는 자기장세기의 변위는 0 ~ 50 Oe로 하였다. TMR의 감도가 실온에서 0.35 %/Oe 이상이었기 때문에 MTJ센서로부터 큰 출력신호를 얻기에 충분하였다. 위에 서술한 바와 같이 자석의 변위는 0 ~ 0.5 mV의 1비트 범위에 있는 출력 전압 신호와 대응되는 것을 알 수 있다. Fig. 3(c)는 (a)의 공간의 신호(점선)와 MTJ 센서(실선)의 출력신호를 비교한 것이다.

MTJ 소자를 사용한 다채널 맥진기의 개발을 위해서는 채널 코드화 및 여러 수정은 디지털 데이터 베이스를 위해 개발되어야 할 것이다. 3차원 맥진파형 진단장치의 감지소자에 대한 자성소자 적용 가능성을 확인한 첫 번째 연구이다. 그러나 미세한 잠재적인 동맥 펄스에 대한 더 많은 연구와 더불어 집적화된 GMR(giant magnetoresistance) 혹은 TMR 자성소자들을 이용한 실제 측정값들의 비교연구 등이 요구된다. 이를 바탕으로 실제의 공간 데이터의 획득과 분석이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글:

본 연구는 보건복지부 한방치료기술연구개발사업 지원 (B050055)에 의하여 이루어진 것임.