

메타버스 햅틱 감각 구현을 위한 TMS 유도 전기장 벡터 분포 확인에 관한 연구

김정원, 신현수, 이성온*

한양대학교, 한양대학교, *한양대학교

rkems1995@hanyang.ac.kr, shs2316@hanyang.ac.kr, *sungon@hanyang.ac.kr

A Study on the TMS-guided Electrical Field Vector Distribution for Haptic Sensory Implementation for Metaverse systems

Jeongwon Kim, Hyunsoo Shin, Sungon Lee*

Hanyang Univ.

요 약

본 논문은 다가오는 메타버스 시대를 위해 가상 환경 속 실감 생성을 위한 햅틱 감각 생성 수단으로써 TMS 뇌 자극을 통한 햅틱 감각 구현을 제안하며 그 연구의 초석이 되는 TMS 장치의 유도 전기장 분포해석을 통해 뇌 자극에 다가가고자 한다. ALLEGRO사의 홀센서 ACS 70310을 사용하여 기존 논문들의 실험 결과를 비교하였고 X, Y, Z축 벡터를 고려한 3차원 Quiver Plot을 통하여 TMS 유도 전기장 벡터 분포의 전체적인 경향을 3차원 시각화를 통해 확인하였다.

I. 서 론

TMS (Transcranial Magnetic Stimulation) 는 머릿속 뇌의 특정 부위에 자기장을 통과시켜 뇌세포에 자극을 주는 요법으로 우울증 등에 치료 방법으로 사용되고 있으나 부수적인 효과로 뇌의 특정 부위를 자극하여 실제 신체의 특정 부위에 자극을 줄 수 있다.

메타버스 VR 실감 생성에 가장 유효하게 접근하고 있다고 생각되는 햅틱 장갑의 경우에는 일반적으로 장갑에 달린 액추에이터를 통하여 VR 공간상에서 접촉이 있을 시 진동이나 팽창을 통한 압력을 가함으로 촉각을 생성하여 실체감을 주고 있지만, 장갑 착용의 불편함과 무거움이 현실과의 일체감에 방해로 주고 있다.

TMS의 뇌 자극으로 신체의 특정 부위에 자극을 주어 VR 공간상에서 현실과의 일체감을 준다면 햅틱 장갑의 무겁고 이질감이 있다는 햅틱 감각 생성의 방해 요소를 제거할 수 있을 것이다. 그러나 TMS를 활용한 뇌 정밀 자극을 위해서는 TMS의 초점을 찾아 정밀한 자극이 필요하다. 하지만 초점의 정확한 위치를 찾기 어려우며 이를 찾기 위한 기존의 연구^[2]에서는 자기장이 모여지는 그래프를 확인하였으나 X, Y 방향의 벡터만을 고려하여 그래프에 표기하고 Z축을 따로 표기하였기에 직관적으로 전체적인 3차원 그래프의 모양을 파악하기 어렵다.

따라서 본 논문에서는 메타버스 VR 실감 생성에 TMS 뇌 자극 도입을 제안하고자 하며 그 초석이 되는 TMS 장치의 유도 전기장을 벡터 분포 해석을 통해 시각화하여 뇌 자극에 다가가고자 한다.

II. 본론

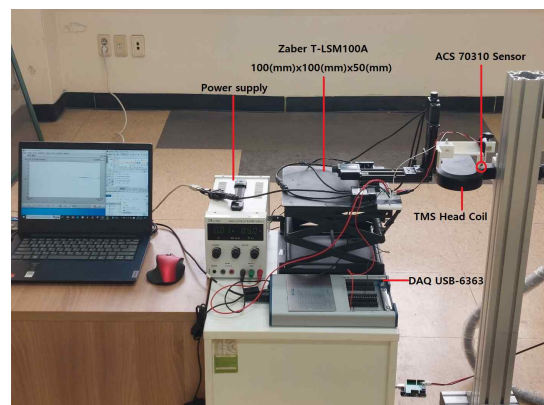
2.1 실험구성

본 실험구성으로는 측정 센서로 ALLEGRO사의 홀센서 ACS 70310을 사용하였다. 해당 장비는 240kHz의 대역폭을 가지고 있으며 단일 축 측정으로 X, Y, Z 방향으로 TMS 장치의 유도 전기장의 벡터 방향의 성분을 측정할 수 있다. 이 홀센서에 5V의 전압을 일정하게 공급해줄 파워 서플라이와 TMS 헤드 각각의 좌표에 센서를 이동시켜줄 스테이지로 Zaber사의 T-LSM100A 제품을 사용하였다. 또한 TMS 신호를 디지털로 바뀌주는 NI사의 DAQ장비 USB-6363 장비와 데이터 정리를 해줄 노트북,

마지막으로 TMS 장치로는 REMED사의 TAMAS 제품을 사용하였다.

본 실험의 실험환경 배치는 <Fig. 1>과 같으며 TMS 헤드와 홀센서의 측정 축을 각각의 X, Y, Z 축에 수직으로 조정을 위하여 볼 조인트를 사용하였고 TMS 헤드와 홀센서를 지그를 통해 수직으로 고정하였다.

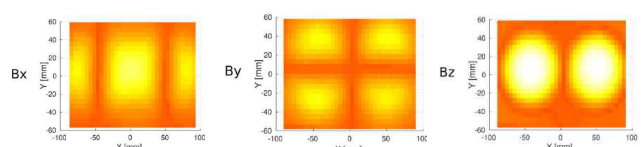
실험의 진행방식은 TMS 헤드의 손잡이 방향을 음의 Y 축(그림에 표시)으로 놓고 평면과 수직인 방향을 Z축으로 놓아 TMS의 중심을 2mm 간격으로 X-Y 평면상에서 각각의 위치의 유도 전기장의 세기를 입력한 2차원 행렬을 만들었고 Z축 방향으로 2mm씩 움직이며 유도 전기장의 세기 49×49×20의 3차원 행렬을 측정하였다.



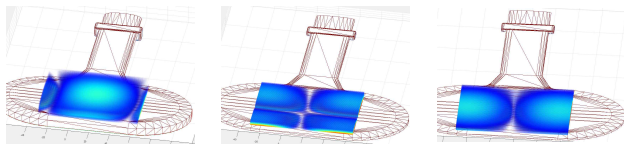
<Fig. 1> 실험환경 구성

2.2 실험 결과

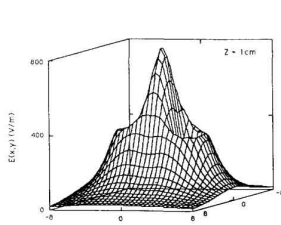
본 실험은 TMS의 5%의 출력으로 진행되었으며 <Fig. 2>와 같이 기존에 알려진 TMS 유도 전기장 분포 시뮬레이션^[1]의 단면과 비교하여 <Fig. 3>와 같이 실험을 통해 유사한 3차원 자기장 분포 그래프를 획득하였다.



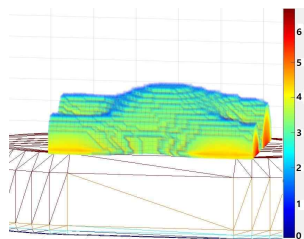
<Fig. 2> TMS 시뮬레이션 자기장 분포 그래프의 깊이 6mm 단면 [1]



< ACS70310 X-axis > < ACS70310 Y-axis > < ACS70310 Z-axis >
<Fig. 3> ACS70310을 사용한 TMS 출력 5% 3차원 자기장 분포 그래프



<Fig. 4> Magnitude of the electric field as a function of x and y induced at z=1 under magnetic coil F [2]



<Fig. 5> X, Y 방향의 자기장을 고려하여, 세기=3V 이상의 전기장 분포를 색상으로 표현한 3차원 전기장 분포 그래프

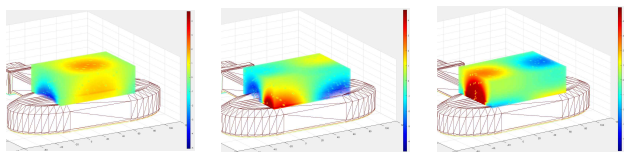
<Fig. 4>는 기존의 논문^[2]에의 X, Y 방향의 자기장을 고려한 유도 전기장의 분포이며 그 세기를 높이로 나타낸 그래프이고 <Fig. 5>는 5%의 출력으로 각각의 (X, Y, Z) 좌표에 실험을 통해 얻은 X, Y 방향 측정값의 세기를 3V 이상으로 제한하여 색상으로 나타낸 그래프이다.

<Fig. 2>나 <Fig. 4>와 같은 기존의 논문^{[1][2]}에서의 표현방식과 다르게 3차원 좌표상에서 X, Y, Z 방향의 유도 전기장의 크기를 색상으로 표현을 해보면 <Fig. 3>과 같아지고 <Fig. 6>과 같이 오실로스코프로 측정된 TMS 헤드의 좌우 트리거 신호의 결과가 마루와 골의 순서가 다르다는 사항을 반영하여 새로운 시각으로 바라본다면 TMS의 각 축에 따른 자기장 분포는 <Fig. 7>과 같을 것이다.

또한 매트랩의 벡터 플롯 함수인 quiver 함수를 통해 3차원 그래프를 그린다면 실제 뇌 자극에 고려될 수 있는 그래프는 <Fig. 8>과 같을 것이다.



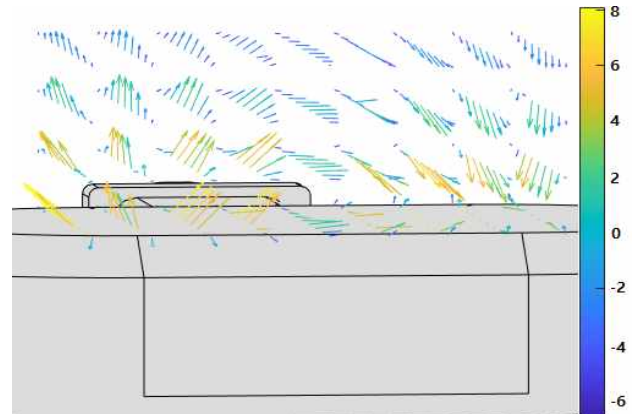
< 음의 X축 트리거 신호 결과 > < 양의 X축 트리거 신호 결과 >
<Fig. 6> TMS 헤드의 손잡이를 양의 Y축으로 볼 때 TMS의 좌우 트리거 신호 오실로스코프 결과



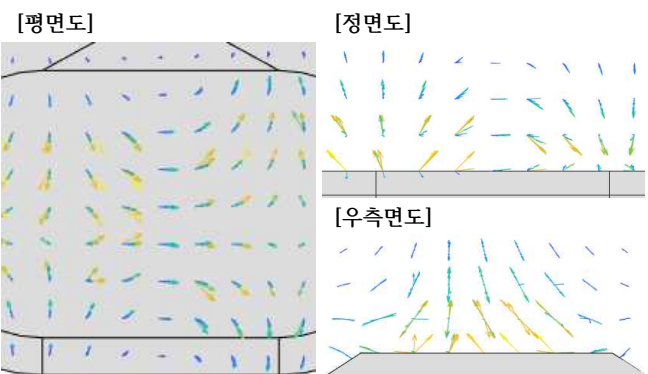
< ACS70310 X-axis > < ACS70310 Y-axis > < ACS70310 Z-axis >
<Fig. 7> 트리거 신호의 마루와 골의 순서를 반영한 X, Y, Z Data Plot

<Fig. 8>의 그래프를 보면 화살표의 방향을 통해 벡터의 방향을 확인할 수 있고 화살표의 색상과 길이를 통해 그 벡터의 크기를 알 수 있으며 그림 상을 기준으로 왼쪽에서 화살표가 나와 오른쪽으로 들어가는 모양을 확인할 수 있다. 또한 그 세기가 TMS 헤드 내부 코일에 가까울수록 강하다는 것을 확인할 수 있다.

이 quiver 함수 그래프의 평면도, 정면도, 우측면도의 사진은 <Fig. 9>와 같으며 Z축 방향의 벡터의 영향으로 좌우의 강도가 중앙에 비하여 강한 것을 확인할 수 있고 좌우의 벡터의 방향이 반대인 것을 확인할 수 있다. 또한 정면도를 확인하였을 때 중앙에서의 자기장의 방향이 TMS 헤드의 평면과 평행하게 벡터의 방향을 이루고 있음을 확인할 수 있다.



<Fig. 8> 3차원 각각의 좌표에서 X, Y, Z 방향의 벡터를 quiver 함수로 표현한 3차원 그래프



<Fig. 9> X, Y, Z 방향의 벡터를 quiver 함수로 표현한 3차원 그래프

III. 결론

메타버스 VR 실감 생성을 위한 TMS 뇌 정밀 자극을 하기 위해서는 TMS의 초점을 찾을 필요가 있다. 이번 연구에서는 TMS의 초점 및 뇌 자극에 영향을 주기 시작하는 임계수치를 찾기 위한 초석으로써 TMS 장치의 유도 전기장을 새로운 관점으로 시각화한 벡터 분포해석을 하였다. 연구 결과로써 TMS 헤드에서 나오는 방향의 벡터와 들어오는 방향의 벡터 중 어느 쪽이 실제 뇌 자극에 영향을 미칠지 혹은 둘 다의 영향으로 중앙에 배치된 뇌 속에서 전류가 유도되어 뇌 자극이 이루어질지 어느 정도의 세기부터 뇌 자극에 영향을 미칠지에 대한 결론은 아직 예측하기 어려운 단계이며 <Fig. 8>, <Fig. 9>의 결과를 토대로 TMS 유도 전기장의 벡터에 따른 초점과 뇌 자극에 영향을 주기 시작하는 임계수치에 관한 연구는 차후의 논문에서 다루어질 예정이다. 결론적으로 이번 실험을 통하여 TMS 유도 전기장 벡터 분포의 전체적인 경향을 3차원 시각화를 통해 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022R1A4A3033961)

참고 문헌

- [1] Mancino, A.V., Milano, F.E., Bertuzzi, F.M. et al. Obtaining accurate and calibrated coil models for transcranial magnetic stimulation using magnetic field measurements. *Med Biol Eng Comput* 58, 1499-1514 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11517-020-02156-2>
- [2] Cohen LG, Roth BJ, Nilsson J, Dang N, Panizza M, Bandinelli S, Friauf W, Hallett M. Effects of coil design on delivery of focal magnetic stimulation. *Technical considerations. Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1990 Apr;75(4):350-7. doi: 10.1016/0013-4694(90)90113-x. PMID: 1691084.