

# Study on the Correlation between the Change in SAR and Temperature of the Human Head by use Dental Implant on 3T BRAIN MRI: Using the XFDTD program

Dea-yeon Choe, Dong-Hyun Kim\*

Department of Radiological Science, Collage of Health Sciences, Catholic University of Pusan

Received: May 30, 2017. Revised: June 15, 2017. Accepted: June 30, 2017

## ABSTRACT

At the Brain MRI examination, RF Pulse are irradiated on the human head in order to acquire MR images. At this time, a considerable part of the irradiated RF Pulse energy is absorbed in our body and the temperature of the human head will rise depending on the degree of exposure, so it will affect the human head. Even if the same RF Pulse energy is given, if the metal is inserted in the human head, the conductivity of the human head is greatly increased by the metal, so the SAR value increases and the temperature also rises. Therefore, we started this research with the question as to whether there is difference between the change in SAR value and temperature displayed on the head of the human according to use or not of the dental implant.

Experiments were using the XFDTD program on a 128 MHz RF Pulse frequency by a 3.0 tesla MRI. We can see that both are increasing that the average value of SAR and temperature that absorbed by the human head model used the dental implant.

In addition, the average maximum SAR value and the maximum temperature rise in the brain part are shown below the international safety standard value but the influence can not be ignored because of the result may change according to the increase in the number of dental implant. And as future tasks. we need to the simulation of temperature rise and SAR due to an increase in the number of implants and volumes of teeth, dental implant material.

Keywords: XFDTD, Dental implant, Human head model, Dental implant model, SAR, Temperature

## I. INTRODUCTION

오늘날 환자로부터 우수한 영상을 얻기 위한 많은 노력들이 이루어지고 있으며 MRI에서는 높은 화질의 영상을 위해 장비 성능의 발전과 함께 자기장의 세기가 더욱 증가하게 되고 이에 따라 인체에 부과되는 RF Pulse의 주파수 역시 증가하고 있다. MRI 검사 시 MR 영상을 얻기 위해 인체에 조사되는 RF Pulse 에너지의 상당부분은 우리 몸에 그대로 흡수되게 된다. 이렇게 인체 조직에 흡수된 RF Pulse 에너지로 인해 전자과흡수율(specific absorption rate, SAR)이 증가하게 되고

이로 인해 인체의 온도가 상승하게 되는데 노출 정도에 따라 인체에 영향을 주게 된다. 이러한 이유로 검사가 중단되거나 열감현상이 발생하고, 심지어는 화상 위험의 가능성도 발생한다.<sup>[1]</sup> 이러한 문제들로 인하여 국가기관 또는 국제 기구 등에서는 인체에 사용하는 기기에 대해서 인체의 전자과 흡수율(SAR: Specific Absorption Rate)을 규정하고 있으며, 미국 Food and Drug Administration (FDA)과 International Electrotechnical Commission (IEC) 에서는 일정 자기장 세기 이상의 사용을 엄격히 제한하고 있다.<sup>[2,3]</sup> 또한 인위적으로 외부 환경에 의해 1°C 이상의 체온상승이 나타나게 되면

\* Corresponding Author: Dong-hyun Kim

E-mail: dhkim@cup.ac.kr

Tel: 010-2079-1133

탈진이나 열사병을 일으킬 수 있고 화상을 초래하기도 한다.<sup>[4]</sup> FDA와 IEC(International Electro technical Commission)에서는 SAR(Specific Absorption Rate, W/Kg)수치로서 전자기장의 열 효과를 측정 하게 되는데, SAR는 전자기장에 의한 조직의 에너지 흡수율을 뜻하는 것으로, 인체가 받은 전자기장 에너지의 양을 간접적으로 나타내어 준다.<sup>[5]</sup> 이렇게 인체 자체만으로도 SAR값에 대해 제한치를 두고 그 위험과 관련하여 경고를 하고 있지만 인체에 금속이 삽입된 경우의 SAR 제한치는 따로 두고 있지 않는 실정이다. 통계청 자료에 의하면 치아임플란트 시술은 한해 건수가 50만 건에 달할 정도로 보편적인 치료가 되었다. 특히 2016년부터 치아임플란트 시술에 대한 건강보험 적용이 확대되면서 앞으로 치아임플란트 비중을 더욱 증가가 예상된다. 실제로 우리나라 성인 인구 중 10명 중 1명은 치아임플란트를 착용하고 있다고 하는데 실제 임상에서는 두부 MRI 검사 시 치아임플란트를 시술 유무와 관련하여 장비에 입력하는 프로그램도 있지 않고 치과임플란트를 시술한 환자와 시술하지 않은 환자의 SAR와 관련된 입력 정보를 동일하게 적용하고 있다. 더구나 치과 보철 같은 경우에는 제거하고 검사를 하지만 치아임플란트는 제거가 불가능하기 때문에 제거 없이 검사를 하고 있다. 동일한 RF Pulse 에너지를 주었다라도 인체에 금속이 삽입되었다면 금속으로 인해 인체의 전도도가 상당히 증가하기 때문에 SAR값이 증가하고 체온도 역시 상승할 것이다. 따라서 치아임플란트를 했을 때와 하지 않았을 때 인체의 머리에 나타나는 SAR값의 변화와 인체의 온도 변화에 차이가 있지 않을까라는 의문으로 이번 연구를 시작하게 되었다.

## II. MATERIAL AND METHODS

인체의 SAR값을 도출하는데 있어서 가장 문제가 되는 것은 직접적인 임상 실험이 불가능하다는 것이다. 실험을 목적으로 전자파를 사람에게 직접 노출시킬 수 없고, 인체 각 부위의 SAR값도 직접 측정하기가 어렵다. 따라서 가장 큰 관심사인 인체 두부의 경우 인체 두부 조직과 같은 전기적 특성을 가지는 매질을 이용한 모형을 제작하여 전계나 온도 분포를 프로브를 이용하여 측정하는 모형 실험 방법과 MRI 데이터를 이용한 해부학적 모델을 이용하여 인체 두부의 전계 및 자계를 계산해서 SAR값을 계산하는 모의 계산 방법이

널리 사용되고 있다. 측정 장비를 구성하기에는 많은 비용이 들고, 제품의 설계단계에 SAR 개념을 포함시켜 신속한 제품 개발을 위해서는 모의 계산 방법이 가장 적절하다.<sup>[6]</sup> 모의 계산 방법은 일반적으로 매질의 복잡성에 별다른 영향을 받지 않으면서도 전파해석이 가능한 FDTD(finite-difference time-domain)방법을 사용한다.<sup>[7]</sup> MRI RF Pulse에 의한 인체 두부의 전자파 결합 분포를 해석하려면, 우선 인체 두부의 정확한 모델이 필요하다. 인체 두부를 단순 구조나 단순 매질로 모델링하는 방법은 간단하지만 실제 복잡한 인체 두부와 많은 차이가 있기 때문에 인체 두부의 전계 분포나 SAR값을 정확하게 예측하기 어렵다. MRI RF Pulse에 의한 인체 두부의 전자파 위해성 여부는 민감한 부분이기 때문에 되도록 정확한 모델링과 계산을 할 수 있어야 한다. MRI 데이터를 이용하여 인체 두부의 내부 구조까지 정확한 모델링하는 방법은 다른 방법에 비해 많은 시간과 노력을 필요로 하지만 정확한 계산 결과를 얻을 수 있다. 외국의 경우 인체 두부에 대한 몇 가지 상용 FDTD 모델이 있다. 대표적인 예로 XFDTD라는 FDTD 시뮬레이터를 제작, 판매하는 Remcom사의 모델링이 유명하다. 이 모델링은 미국의 NLM(U.S. National Library of Medicine)에서 수행되고 있는 The Visible Human Project에서 촬영된 MRI 데이터를 기반으로 제작되었으며 한 셀의 크기는  $3\text{mm} \times 3\text{mm} \times 3\text{mm}$  이다.<sup>[8]</sup> 전자파 인체 결합 특성연구로 모의인체를 이용한 측정방법과 수치해석을 이용한 계산방법이 있다. 노출위험을 평가하는 계수로서는 열적작용으로 대변되는 전자파 비흡수율(SAR)을 사용하는데, SAR는 인체 조직의 단위질량이 전자파로부터 흡수되는 에너지 양을 의미한다.

본 논문에서는 인체두부 모델을 전자장 분석 소프트웨어 프로그램인 XFDTD 프로그램을 사용하여 전자파 인체 결합 특성연구로 수치해석을 이용하여 MRI 사용 시 인체두부 모델에 삽입된 치아임플란트 주위의 비흡수율(SAR: Specific Absorption Rate) 분포와 온도상승(Temperature-Rise)을 분석하였다.

### 1. 장비

#### 1.1 XFDTD (제조사: REMCOM )

위 실험의 측정은 미국 램콤사의 전자장 분석 소프

트 프로그램인 XFDTD 프로그램을 사용하였다.

XFDTD 프로그램은 안테나 분포, 낙뢰 범위, 사드기 지 주변의 전자파 시뮬레이션 측정에 사용되기도 하지만 인체를 많은 수의 셀로 분할하여 인체의 셀 하나하나가 전자장에 대하여 받는 영향을 SAR sensor와 Thermal sensor를 작동시켜 해석 솔루션을 이용, 수치계산을 통해 SAR와 온도 결과값을 나타낼 수 있다.



Fig. 1. XFDTD Program (Remcom)

### 1.1.1 SAR 계산

전자파에 의해 인체 조직의 단위질량에 유기되는 전력의 양을 SAR라고 하며, 단위는 [W/Kg], 또는 [mW/g]으로 나타낸다. 아래의 식은 SAR의 수식적인 표현이다.

$$SAR = \sigma/2\rho | E_i |^2$$

$\sigma$  = 조직의 전도도 [S/m]

$\rho$  = 조직의 밀도[Kg/m<sup>3</sup>]

$E_i$  = 내부 전기장의 최대값

(1)

### 1.2 인체두부 모델

본 논문에 사용된 인체두부 모델은 미국의 Brigham Young University에서 MRI촬영으로 구성한 Jensen 모델로 공기를 제외한 뼈, 피부, 근육, 노, 렌즈, 수양액, 각막 등 7개의 조직으로 구성되었다. 인체 두부의 크기는 15.74 × 21.65 × 20.34 [cm]로 되어 있다.

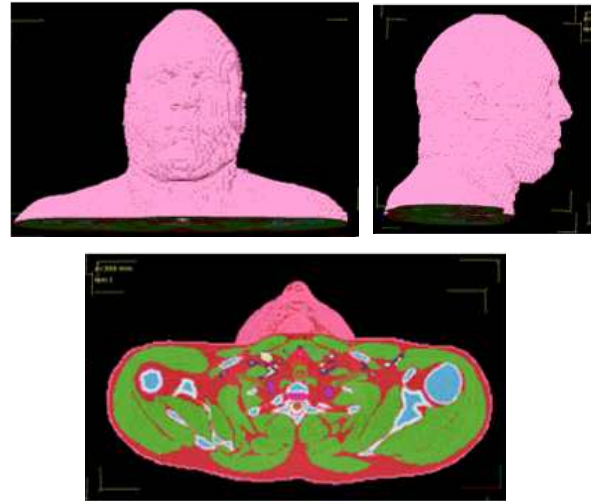


Fig. 2. Human head phantom (front, side, lower).

### 1.3 치아임플란트 모델

3D 모델링 CAD 프로그램으로 제작되었으며, 3차원적 입체모형으로 크기는 가로 2.14, 세로 0.52로 되어 있다.



Fig. 3. Dental implant model.

## 2. 실험방법

3.0T MRI장비에서의 128Hz RF Pulse 주파수대에서 XFDTD 프로그램을 사용하여 인체두부 모델과 치아임플란트 모델을 활성화시켜 아래와 같은 방법으로 실험하였다.

**실험 1. 치아임플란트를 사용했을 때의 인체두부에서 다음을 XFDTD를 이용하여 모의 측정한다.**

- ① Thermal Sensor 의 온도변화
- ② Thermal Sensor 의 온도 그래프 변화
- ③ SAR Sensor의 SAR값 변화

**실험 2. 치아임플란트를 사용하지 않았을 때의 인체두부에서 다음을 XFDTD를 이용하여 모의 측정한다.**

- ① thermal Sensor 의 온도변화
- ② thermal Sensor 의 온도 그래프 변화
- ③ SAR Sensor의 SAR값 변화

이상의 두 가지 실험을 각각 측정 비교하여 치아임플란트의 사용 유무에 따른 온도변화와 SAR값의 변화를 비교 평가하였다.

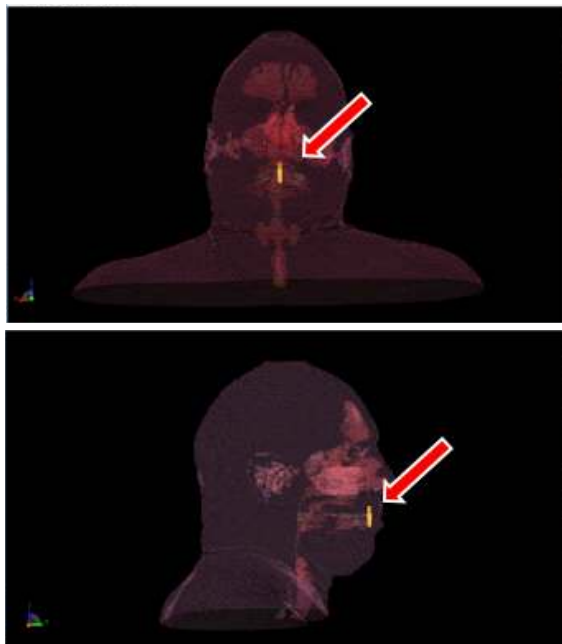


Fig. 4. Dental implant inserted into phantom of human head.

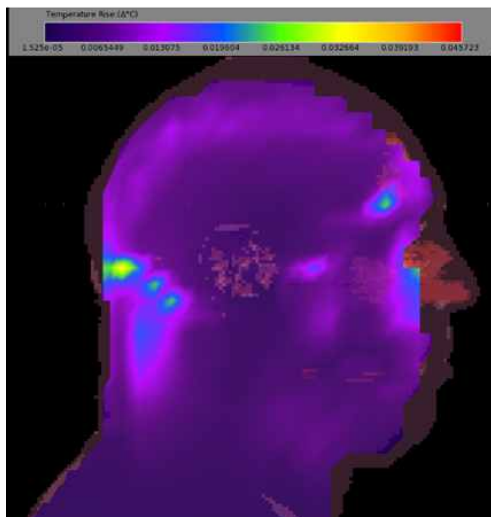


Fig. 5. Head temperature change of human head phantom without using dental implant.

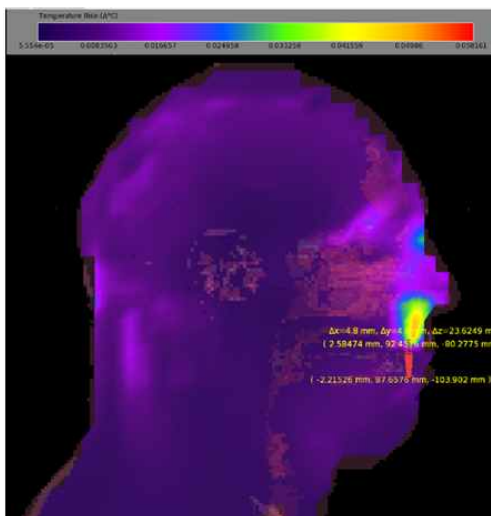


Fig. 6. Head temperature change of human head phantom when using dental implant.

### III. RESULT

#### 1. Thermal Sensor의 온도변화

치아임플란트를 사용하지 않았을 때와 치아임플란트를 사용하였을 때의 온도변화는 Fig. 5와 Fig. 6에서와 같다. 치아임플란트를 사용하지 않았을 때보다 치아임플란트를 사용하였을 때의 온도변화에서 치아 임플란트 주변으로 온도변화가 발생하였다. 온도변화는 치아 임플란트 상부에서 가장 높았고, 뇌 부분에는 거의 온도변화가 없어 SAR에 대한 영향이 없음을 알 수 있다.

#### 2. Thermal Sensor의 체온 그래프 변화

치아임플란트를 사용하지 않았을 때와 치아임플란트를 사용하였을 때의 체온 그래프 변화는 Table 3, Table 4와 Fig. 8, Fig. 9에서 보는 것과 같이 치아임플란트를 사용하지 않았을 때의 최대 체온 변화값은 0.03776 7°C로 나타났고 치아임플란트를 사용하였을 때의 최대 체온 변화값은 0.047153°C로 나타났다. 치아임플란트를 사용하지 않았을 때와 비교하여 치아임플란트를 사용하였을 때 최대 체온 변화값은 상승하였고 그 차이 값은 0.009386°C로 나타났다.

Table 1. Head temperature change of thermal sensor of human head phantom without using dental implant.

Thermal Sensor (Thermal Statistics for) - No implant	
Maximum Temperature Rise	0.037767 Δ°C
Minimum Temperature Rise	2.614e-05 Δ°C
Average Temperature Rise	0.00418 Δ°C

Table 2. Head temperature change of thermal sensor of human head phantom when using dental implant.

Thermal Sensor (Thermal Statistics for) - One implant	
Maximum Temperature Rise	0.047153 Δ°C
Minimum Temperature Rise	2.951e-05 Δ°C
Average Temperature Rise	0.00593 Δ°C

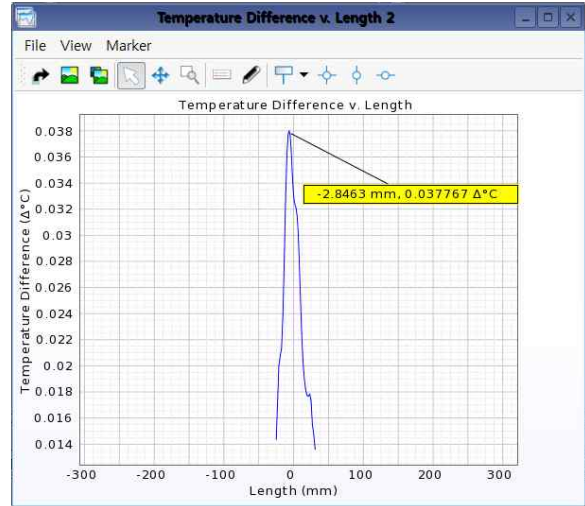


Fig. 8. Head temperature graph change of human head phantom without using dental implant.

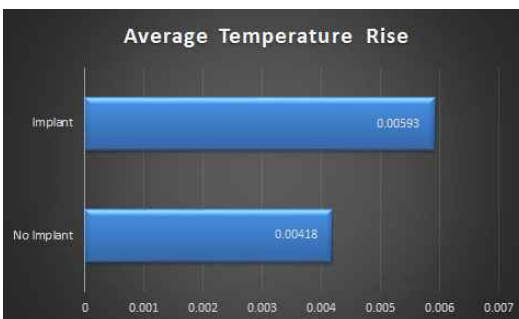
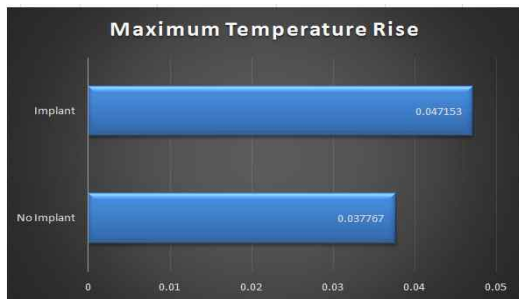


Fig. 7. Graph of head temperature change of thermal sensor with or without dental implant.

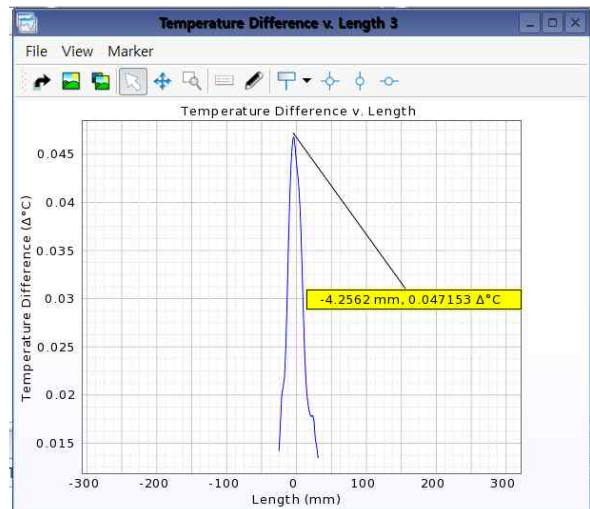


Fig. 9. Head temperature graph change of human head phantom when using dental implant.

### 3. SAR Sensor의 SAR값 변화

다음은 치아임플란트 사용 유무에 따른 인체두부 모델에서의 SAR 값의 변화를 나타냈다.

아래 Table 3, Table 4에서 보여지는 것처럼 치아임플란트를 사용하지 않았을 때, 인체 조직의 1g 평균 SAR값의 최대 상승 값은 0.001942 W/Kg으로 나타났고 치아임플란트를 사용했을 때 임의 인체 조직의 1g 평균 SAR값의 최대 상승 값은 0.03888 W/Kg으로 나타났다. Fig. 10에서와 같이 치아임플란트를 사용하지 않

았을 때보다 치아임플란트를 사용하였을 때 최대 SAR 값이 상승하였다.

Table 3. SAR value change of SAR sensor of human head phantom without using dental implant.

Quantity		3T - 128 MHz
SAR Sensor (Raw)	Maximum Value	0.1274 W/kg
	Average Value	1.145e-05 W/kg
	Total Power Dissipated	0.0001071 W
	Total Tissue Mass	9.356 kg
SAR Averaging Sensor (10g Average)	Maximum Value	0.0006324 W/kg
	Average Value	1.145e-05 W/kg
	Total Power Dissipated	0.0001071 W
	Total Tissue Mass	9.356 kg
SAR Averaging Sensor (1g Average)	Maximum Value	0.0001942 W/kg
	Average Value	1.145e-05 W/kg
	Total Power Dissipated	0.0001071 W
	Total Tissue Mass	9.356 kg
Net Input Power		8.099e-05 W
Power Scaling Factor		1

Table 4. SAR value change of SAR sensor of human head phantom when using dental implant.

Quantity		3T - 128 MHz
SAR Sensor (Raw)	Maximum Value	3.515 W/kg
	Average Value	2.016e-05 W/kg
	Total Power Dissipated	0.0001886 W
	Total Tissue Mass	9.357 kg
SAR Averaging Sensor (10g Average)	Maximum Value	0.000726 W/kg
	Average Value	2.016e-05 W/kg
	Total Power Dissipated	0.0001886 W
	Total Tissue Mass	9.357 kg
SAR Averaging Sensor (1g Average)	Maximum Value	0.03888 W/kg
	Average Value	2.016e-05 W/kg
	Total Power Dissipated	0.0001886 W
	Total Tissue Mass	9.357 kg
Net Input Power		8.106e-05 W
Power Scaling Factor		1

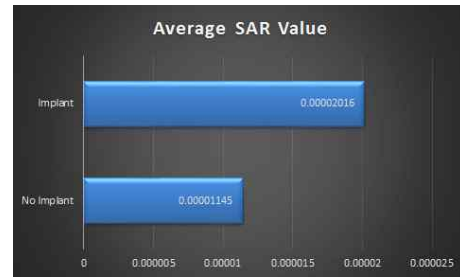
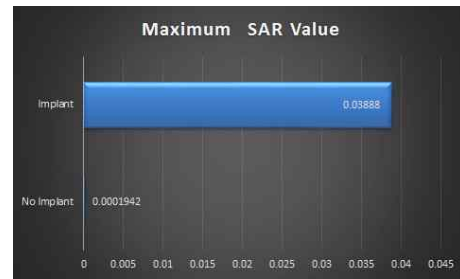


Fig. 10. 1g average SAR value change of SAR sensor according to presence or absence of dental implant.

#### IV. CONCLUSION

MRI장비에서 치아임플란트로 인해 인체두부 모델에 흡수되는 SAR의 평균값과 체온 상승을 살펴 본 결과 모두 증가하고 있음을 알 수 있다.

치아임플란트를 사용하였을 때 SAR값은 더욱 상승하는 것으로 나타났고, 치아임플란트를 사용하였을 때 SAR값은 0.03888 W/Kg으로 산출되었다. 이는 IEEE 국제 안전 권고치 1.6W/Kg보다는 낮은 수치지만 치아 임플란트 1개만 삽입되었을 때를 감안한다면 치아 임플란트 수가 1개 이상이거나 치아임플란트의 체적이 증가되었을 때 SAR값의 증가는 제한치에 더욱 가까워질 수 있다는 것을 알 수 있다.

최대 온도 상승값은 치아임플란트 주변부위에서 나타났으며, 두부 전체의 온도 상승값은 0.037767°C와 0.047153°C로 두 온도 차이는 0.009386°C로 나타났다. 이는 ANSI/IEEE에서 인체 조직 1g 평균 침투 SAR값은 1.6W/Kg, 뇌 부분은 최대 온도상승은 0.06°C 이하로 규정하고 있으며, ICNIRP/Japan의 안전 기준치는 10g 평균 침투 SAR값을 2W/Kg, 뇌 부분의 최대 온도상승을 0.11°C 이하로 규정하고 있는데 ANSI/IEEE와 ICNIRP/Japan의 안전 기준치에는 미치지 못하지만 최대



온도 상승값 역시 치아임플란트 1개만 삽입되었을 때를 감안한다면 치아임플란트 수가 1개 이상이거나 치아임플란트의 체적이 증가되었을 때 SAR값과 최대 온도 상승값의 증가는 제한치에 더욱 가까워 질 수 있다는 것을 알 수 있었으며 그 영향에 대해 절대 간과하고 있어서는 안될 것이다. 또한 SAR는 사용자 인체의 각 조직 내에 축적되는 전자기 에너지량을 나타내므로 본 논문에서는 전자파에 의한 전자기적 결합도를 평가할 수 있었고, 전자기 에너지가 인체 내에서 어떠한 형태로 분포하는가를 분석할 수 있었다. 향후 과제로 치아임플란트 개수와 체적의 증가와 치아임플란트 재질에 따른 SAR, 온도상승 시뮬레이션이 필요하다. 그리고 치아임플란트에 의한 온도상승은 미약하지만 전자파에 민감한 반응을 보이는 요인에 대한 연구를 실시하여 인체에 대한 생리적, 생화학적 영향 연구가 필요하리라고 본다.

마지막으로 본 연구에서 제안된 연구결과를 근거로 두부 MRI 검사에서 치아임플란트를 시술한 환자를 대상으로 SAR에 대한 배려를 한다면 SAR의 상승과 체온상승으로 인한 의료사고를 미연에 방지할 수 있어 국민보건건강과 진단적 가치를 높일 수 있을 것이라 사료된다.

## Reference

- [1] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields(up to 300 GHz), International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection(ICNIRP) Guidelines.
- [2] M. G. Restivo, C. A. van den Berg, A. L. van Lier, D. L. Polders, A. J. Raaijmakers, P. R. Luijten, H. Hooqduin. "Local specific absorption rate in brain tumors at 7 tesla". *Magnetic Resonance Medicine*, Vol. 7. No. 1, pp. 381-389, 2016.
- [3] Z. Wang, J. C. Lin. "Partial-Body SAR Calculations in Magnetic-Resonance Image(MRI) Scanning Systems [Telecommunications Health and Safety]. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 54. No. 2, pp. 230-237, 2012.
- [4] A. Hirata and O Fujiwara. "The correlation between mass-averaged SAR and temperature elevation in the human head model exposed to RF near-fields from 1 to 6GHz". *PhyWashington, D. C.*, Vol. 7, pp. 40-52, 2009.
- [5] K. B. Baker, J. A. Tkcah, . A. Nyenhuis, M. Phillips, F. G. Shellock, J. Gonzalez-Martinez, A. R. Rezai. "Evaluation of specific absorption rate as a dosimeter of MRI-related import heating". *Journal of Magnetic Resonance fo Imaging*, Vol. 20, no. 2, pp. 315-320, 2004.
- [6] J. Y. Lee, N. H. Myung, M. S. Choi, H. T. Oh, S. W. Hong, K. H. Kim, "FDTD Modeling of the Korean Human Head using MRI Images", *The Journal of Korean of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 11, no. 4, PP. 582-591, Jun, 2006.
- [7] A. D. Tinniswood, C. M. Furse, and O. P. Cahdhi, "Computations of SAR distributions for two anatomically based models of the human head using CAD files of commercial telephones and the parallelized FDTD code", *IEEE Trans, Antennas Propagat*, Vol. 46, pp. 829-833, Jun, 1998.
- [8] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value ons in isotropic media", *IEEE Trans, Antennas Propagat*, Vol. 14, pp. 302-307, May, 1966.
- [9] User's manual for XFDTD, <http://www.remcom.com>
- [10] D. U. Hong, D. H. Kim, D. K. Kang, "Analysis of SAR Distribution Characteristics in a Head Model using FDTD", *Journal of the KIIS*, Vol. 19, No. 2, 2004.
- [11] M. S. Kim, J .W. Lee, J. E. Jung, "Effective of Body Temperature Increasing during Brain MRI scan", *J. Korean Soc, Radiol*, Vol. 11, No. 1, February, 2017.
- [12] G. W. Choi, "Study on RF Transmission Shielding of Localized Field of view MRI", *The Transactions of the Korean institute of Electrical Engineers*, Vol. 2010, No. 10, pp. 276-277, Oct, 2010.
- [13] C. Marincas, "The Thermal Effect of Radio Frequency Waves near Dental Implants during MRI Examination at 3 Tesla", *Acta Electrotechnica*, Vol. 54, No. 1, 2013.

## 3T BATIN MRI 검사 시 치아임플란트 시술 유무와 인체의 SAR, 체온 변화와의 상관관계에 관한 연구 : XFDTD 프로그램을 이용

최대연,<sup>1</sup> 김동현<sup>2,\*</sup>

부산가톨릭대학교 방사선학과

### 요 약

Brain MRI 검사에서는 영상을 얻기 위해 RF Pulse를 인체에 조사하게 되는데 이때 조사된 RF Pulse 에너지의 상당부분은 우리 몸에 그대로 흡수되게 되고 이로 인해 인체의 온도가 상승하게 되는데 노출 정도에 따라 인체에 영향을 주게 된다. 동일한 RF Pulse 에너지를 주었더라도 인체에 금속이 삽입되었다면 금속으로 인해 인체의 전도도가 상당히 증가하기 때문에 SAR값이 증가하고 체온도 역시 상승할 것이다. 따라서 치아임플란트를 했을 때와 하지 않았을 때 인체의 머리에 나타나는 SAR값의 변화와 인체의 온도변화는 차이가 있지 않을까라는 의문으로 이번 연구를 시작하게 되었다.

실험은 3.0 Tesla MRI장비에서 발생하는 128MHz RF Pulse 주파수대에서 치아임플란트의 사용 유무에 따른 인체가 받는 SAR와 체온의 변화를 XFDTD 프로그램을 사용하여 인체두부 모델과 치아임플란트 모델을 활성화시켜 실험하였다.

MRI장비에서 치아임플란트로 인해 인체두부 모델에 흡수되는 SAR의 평균값과 체온 상승을 살펴 본 결과 모두 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 계산 결과 평균 최대 SAR값과 뇌 부분의 최대 온도 상승이 국제 안전 기준치 이하로 나타났으나, 치아임플란트의 개수 증가에 따라 값이 변할 수 있으므로 그 영향을 간과할 수 없으며, 향후 과제로 치아임플란트 개수와 체적의 증가와 치아임플란트 재질에 따른 SAR, 온도 상승 시뮬레이션이 필요하다.

중심단어: XFDTD, 치아임플란트, 인체두부 모델, 치아임플란트 모델, SAR, 체온