

쌍 T-형 결함 마이크로스트립 패치 안테나를 활용한 다리 골절 회복 모니터링 모의실험

김병문* · 윤리호* · 이상민* · 박연택** · 홍재표***

Leg Fracture Recovery Monitoring Simulation
using Dual T-type Defective Microstrip Patch Antenna

Byung-Mun Kim* · Lee-Ho Yun* · Sang-Min Lee* · Yeon-Taek Park** · Jae-Pyo Hong***

요약

본 논문은 인체 다리의 골절 회복 모니터링을 위한 쌍 T-형 결함이 있는 온 바디 마이크로스트립 패치 안테나의 설계 및 최적화 과정을 제시하였다. 이 안테나는 T-형 결함의 크기를 조절하여 향상된 반사손실 및 대역폭을 가지면서, 경박단소하도록 설계되었다. 적용된 다리 주변 구조는 5층 유전체 평면으로 구조화 하였으며, 각층의 복소유전상수는 4극 Cole-Cole 모델 매개변수를 사용하여 계산하였다. 골절이 없는 정상인 경우 온 바디 안테나의 반사손실은 4.0196GHz에서 -66.71dB이고, 갤러스 층의 길이 10.0mm, 폭 1.0mm, 높이 2.0mm 인 경우 반사손실 차 ΔS_{11} 는 37.95dB이다. 반사손실 변화에 대한 갤러스 층 높이를 예측할 수 있도록 3차 다항식 모델을 제시하였으며, 이 다항식의 $RSS = 1.4751$, $R^2 = 0.9988246$, P -value = 0.0001841로서 매우 높은 예측 적합성을 가진다.

ABSTRACT

In this paper, we present the design and optimization process of an on-body microstrip patch antenna with a paired T-type defect for monitoring fracture recovery of human legs. This antenna is designed to be light, thin and compact despite the improvement of return loss and bandwidth performance by adjusting the size of the T-type defect. The structure around the applied human leg is structured as a 5-layer dielectric plane, and the complex dielectric constant of each layer is calculated using the 4-pole Cole-Cole model parameters. In a normal case without bone fracture, the return loss of the on-body antenna is -66.71dB at 4.0196GHz, and the return loss difference ΔS_{11} is 37.95dB when the gallus layer have a length of 10.0mm, width of 1.0mm, and height of 2.0mm. A 3rd degree polynomial is presented to predict the height of the gallus layer for the change in return loss, and the polynomial has a very high prediction suitability as $RSS = 1.4751$, $R^2 = 0.9988246$, P -value = 0.0001841.

키워드

T-type Defect, Microstrip Patch Antenna, Fracture Recovery, Gallus Layer, Cole-Cole Model

T-형 결함, 마이크로스트립 패치 안테나, 골절 회복, 갤러스 층, 콜-콜 모델

* 경북도립대학교 전기전자과(kimbyte@gd.ac.kr
lhyun@gd.ac.kr 응급구조과 goldfish333@hanmail.net)

** 탐런토달솔루션(ytpark@top-run.net)

*** 교신저자 : 경일대학교 전자공학과

· 접수일 : 2023. 06. 20

· 수정완료일 : 2023. 07. 16

· 게재확정일 : 2023. 08. 17

· Received : Jun. 20, 2023, Revised : Jul. 16, 2023, Accepted : Aug. 17, 2023

· Corresponding Author : Jae-Pyo Hong

Dept. of electronics engineering, Kyungil University,

Email : jphong@kiu.kr

1. 서론

마이크로일렉트로닉스 및 집적 회로, 시스템은 칩 설계, 무선 통신 및 지능형 저전력 센서의 최근 발전으로 WBAN(: Wireless Body Area Network)의 실현이 가능해졌습니다. WBAN은 인체 기능과 주변 환경을 모니터링하는 저전력, 소형화, 침습 / 비침습 경량 무선 센서 노드의 모음이다. 또한 유비쿼터스 의료, 엔터테인먼트, 대화형 게임 및 군사 응용 프로그램과 같은 혁신적이고 흥미로운 여러 응용 프로그램을 지원한다. 현재 WBAN은 이동 통신 시스템의 중요한 부분이 되고 있으며, 통신 주파수로는 ISM 밴드 (2.45GHz, 5.8GHz 대역)를 주로 사용하고 있다. 무선 네트워크의 사용 증가와 장치의 소형화로 인해 WBAN 분야는 인간에게 부착된 다양한 센서를 인터넷에 연결하여 실시간 의료 기록 업데이트를 통하여, 환자의 건강을 지속적으로 모니터링할 수 있다. 이러한 네트워크에서 다양한 센서는 사람이 입는 옷에 부착되거나 신체에 패치 형태로 직접 부착되거나 심지어 신체에 이식하기도 한다. 웨어러블 모니터링 시스템은 가정과 실외, 병원 등에서 생체정보를 모니터링하고 상태를 진단 및 제어할 수 있다[1-3].

BAN 장치 종류는 송신기와 수신기 신체 부착 위치에 따라 On-body, In-body 및 Off-body 등의 통신유형으로 나눌 수 있다. BAN에서 송·수신기는 대부분 동일 신체에 설치하기 때문에 이 통신망 주파수 대역인 ISM 밴드부터 전자파 영향이 적고, 전원공급이 용이하며, 쉽게 장착할 수 있는 온바디 동축급전 마이크로스트립 패치 안테나(MPA : Microstrip Patch Antenna)는 수요가 많다. 이 안테나는 다리 주변에 장착하여 다리의 지방량 및 근육량, 골밀도 그리고 골절 회복 등을 감시하는데 사용할 수 있다[1].

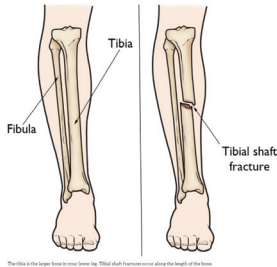


그림 1. 인체 다리의 경골 골절 상태[1]

Fig. 1 Tibia fracture condition of human lower leg[1]

요즘 마이크로과 영상은 뼈의 골절 치유상태, 피부 종양 및 피부 화상 위험과 같은 생물학적 이상의 초기 단계 특성화를 위한 매력적인 대체 요법이다. 갑작스러운 뼈 골절은 혈관 절단으로 인해 혈액 공급 부족으로 골절 양쪽에서 1-2mm의 뼈가 죽게 된다. 골절의 치유 과정은 새로운 뼈(캘러스 층)가 형성되고 파괴된 영역을 채워 원래의 연속성과 견고성을 회복할 때 시작된다. 결과적으로 치유 과정은 캘러스 층 두께의 감소를 모니터링함으로써, 정량적으로 추정될 수 있다.

그림 1에서 보여주는 인체 다리의 골절 검출은 X - Rays, CT, MRI 등과 같은 많은 진단 영상 검사로 진단할 수 있다. 특히 X - 광선은 방사선 노출 위험 때문에 반복 테스트에는 안전하지 않다. 골절은 일반적으로 1 차 방사선 사진에서 볼 수 있으나 치유 과정의 연조직 단계는 방사선 사진에서 시각화하기가 어려워 부상 후 3~6 주 후이나 볼 수 있다. 또한 X-선은 임신부나 바륨 조영제와 비스무트 함유 약물을 복용한 환자에게는 사용할 수 없다. MRI 검사는 정확도는 높으나, 검사 시간이 길고 비용이 많이 들어 반복 검사에 부적합하다. 또한, 폐소 공포증, 긴장 또는 MRI 기계로 인한 시끄러운 소음에 의해 방해받는 사람들은 검사 전에 항불안제를 투여받아야 한다[2].

본 논문에 적용된 인체 다리는 횡단면 구조를 고려하여 기본적으로 피부, 지방, 근육, 돌출 캘러스 및 뼈(피질골)의 5층 평면구조로 모델링하였다. 이들 각층의 손실을 고려한 주파수별 복소 유전율은 Gabriel 등에 의한 인체의 유전특성 연구에서 제시된 4극 Cole-Cole 모델 매개변수를 사용하여 계산하였다[4,5].

신체 접촉에 의한 성능 저하를 반영한 온-바디 MPA 설계는 먼저 인셋 급전 MPA를 설계하고 이때 인셋의 길이는 일반적으로 동축급전의 위치와 거의 유사하다. 따라서 본 논문에서는 이 안테나의 기구 치수를 초기치로 해서 안테나의 길이와 폭, 급전 위치의 최적화를 실시한다[1]. 골절 회복 감시용 센서 안테나는 회복 상태의 분해능을 높일 목적으로 안테나 대역폭을 좁히고, 반사손실을 향상시켜야 한다. 이 목적을

1) <https://orthoinfo.aaos.org/en/diseasesconditions/tibia-shinbone-shaft-fractures/>

위해서 마이크로스트립 패치는 H-면 중심 양단에 T-형 결함을 만들고 크기를 조절하여 임피던스 정합 특성을 개선한다[6,7]. 이 최적화 모의 실험은 FEM 기반 3차원 시뮬레이터 HFSS를 사용하여, 반사손실이 최소가 되도록 쌍 T-형 결함의 크기를 조정하였다. 회복에 따른 MPA의 반사손실 변화에 대한 갬러스 층 높이(bc_h : 0.0 ~ 2.0 [mm])를 예측할 수 있도록 3차 다항식 모델을 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장 서론에 이어, 2장에서는 T-형 결함을 갖는 동축급전 MPA 설계 및 팬텀 구조에 대해 알아보고, 3장에서는 인체 팬텀 상에서 최적화된 안테나를 설계하여 모의실험한 후, 4장에서 결론을 맺고자 한다.

II. T-형 결함 동축급전 MPA 설계

그림 2와 같이 온바디 안테나는 패치와 급전선로가 인체에 영향을 많이 받기 때문에 온 바디 MPA의 급전은 배면에서 동축라인 급전을 하는 것이 유리하다. 동축급전 위치는 인셋 급전 패치의 인셋 위치 x_f 와 거의 유사하다[6]. 동축급전 MPA는 골절회복 분해능을 높이기 위해서 협대역 임피던스 정합 성능을 개선해야 할 필요가 있다. 개선 방법은 그림 2(c)와 같이 패치에 T-형 인셋 결함을 만드는 것이다.

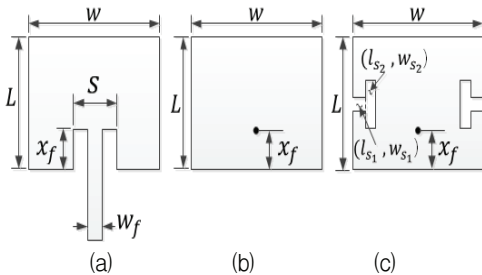


그림 2. MPA 급전 :(a) 인셋 급전(b) 동축급전(c) 동축급전 T-형 결함 패치

Fig. 2 MPA feed :(a) Inset-fed patch.(b) Coaxial probe-fed patch.(c) Coaxial probe-fed T-type defective patch.

2.1 인셋 급전 MPA 설계

그림 2의 패치 안테나의 설계는 다음과 같다. 먼저 설계 목표로 하는 공진주파수에서의 패치 폭 W과 길이 L은 안테나의 공진주파수 f_o , 유전체의 유전율 ϵ_r , 두께 h로 식 (1), (2)와 같이 근사화될 수 있다[1].

$$W = \frac{c}{2f_o} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad \dots(1)$$

$$L = \frac{c}{2f_o \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta\ell \quad \dots(2)$$

여기서, c는 광속, ϵ_{eff} 는 유효 유전율, $\Delta\ell$ 은 가장자리 효과에 의한 선로확장 길이를 나타낸다.

그림 2(b)의 인셋급전 MPA에서 인셋의 길이 x_f 는 입력임피던스 관계식들을 정리하면 식(3)과 같다[1].

$$x_f = \frac{L}{\pi} \cos^{-1} \sqrt{\frac{R_{in}(x_f)}{R_{in}(0)}} \quad \dots(3)$$

여기서 $R_{in}(x_f)$ 은 급전점에서 희망하는 입력임피던스로서 본 논문에서는 50.0 ohm이고, $R_{in}(0)$ 은 패치의 가장자리 입력임피던스이다.

2.2 T-형 결함을 갖는 급전 MPA 설계

자유공간에서 주파수 4.02GHz에서 공진하기 위해 식(1)~(3)을 사용하여 설계된 안테나 전체의 크기는 50.0mm × 40.3mm, 패치는 29.48mm × 24.77 mm, 그리고 급전선로 50 Ω 인셋의 길이는 8.64mm이다. 기판(Duroid 5880)의 사양은 $\epsilon_r = 2.2$ 및 유전손실 $\tan\delta = 0.0009$, 두께는 0.787mm이고, 동판의 두께는 17.5 um이다.

동축급전 MPA의 급전 위치 x_f 는 인셋 길이에 해당되는 길이 방향(y축)의 가장자리로부터 8.64mm이다. 50 ohm동축선로에서의 유전체는 테프론($\epsilon_r = 2.1$)을 사용하고, 내심 도체의 반경은 0.75mm, 외곽도체의 내경은 2.51mm이다.

안테나의 임피던스 정합 성능을 개선하기 위한 마이크로스트립 라인의 결함(DMS : Defect Microstrip Structure)은 주파수 응답에서 LC 공진 특성을 생성한다[6-9]. 따라서 DMS는 그림 3과 같이 LC 공진기에 의해 모델링될 수 있으며, T-형 결함의 크기를 조절하면, 원하는 주파수에서 기존의 패치 안테나의 임피던스 정합 특성을 개선할 수 있다.

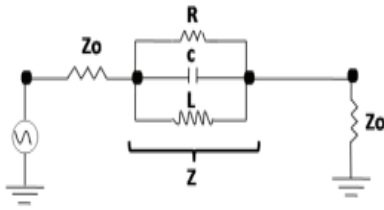


그림 3. 결함을 갖는 마이크로스트립 구조의 등가회로
Fig. 3 Equivalent circuit of defected microstrip structure

등가회로 파라미터(C, L, R)들은 식(4)를 사용하여 계산할 수 있다.

$$C = \frac{w_c}{2Z_0(w_0^2 - w_c^2)} \quad \dots(4)$$

$$L = \frac{2Z_0(w_0^2 - w_c^2)}{w_c w_0^2}$$

$$R = \frac{2Z_0(1 - S_{21|w=w_0})}{S_{21|w=w_0}}$$

여기서 w_c 는 차단 각주파수이며, w_0 는 T-형 결함 마이크로스트립 구조의 공진 각주파수이고, Z_0 는 선로의 특성임피던스이다[10].

2.3. 팬텀 구조

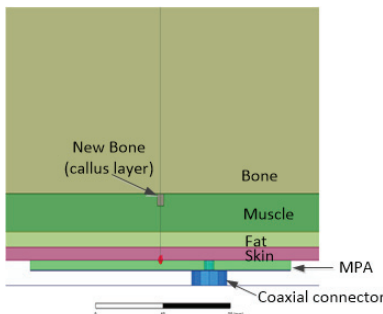


그림 4. MPA와 팬텀 모델
Fig. 4 MPA and phantom model

제안된 MPA는 그림 4와 같이 90mm × 80mm 평면 크기의 인체 팬텀에 배치되었다. 이 팬텀은 피부와 지방, 근육, 뼈로 구성되어 있으며, 골절 회복시 발생된 캘러스 층은 뼈와 근육의 경계면에서 근육 방향으로 돌출되어 있으며, 재질은 다리 뼈의 피질골과 동일

하다. 이 층은 폭 1.0mm, 길이 10.0mm, 높이 2.0mm 직육각형으로 모델링하였으며, 안테나의 H-면에 평행하게 다리 뼈 상에 위치한다.

각층의 손실을 고려하기 위한 주파수별 복소 유전율은 Gabriel 등에 의한 인체의 유전특성 연구[4,5]에서 제시된 4극 Cole-Cole 모델 매개변수를 사용하여 계산하였다. 주파수 4.0GHz에서 인체 팬텀의 복소 상대유전율($\epsilon_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r$)와 두께는 표 1과 같다.

표 1. 팬텀 내 층별 유전상수 및 두께

Table 1. Dielectric constant and thickness of each layer in the phantom

Division	ϵ'_r	ϵ''_r	thickness (mm)	remark
Air	1.00	0.00	Half space	
Skin	40.85	-12.14	1.0	
Fat	5.13	-0.82	1.2	
Muscle	50.82	-13.55	3.0	
Cortical Bone	10.53	-3.27	26.5 Half space	New bone(Callus layer)

III. 시뮬레이션 결과

제시한 T-형 결함 MPA는 그림 4와 같이 팬텀의 피부 면에 안테나를 접촉시키고 유한요소법(FEM) 기반 3차원 시뮬레이터 'High Frequency Structure Simulation'(HFSS)를 사용하여, 주파수 4.020GHz에서 공진되도록 우선적으로 안테나의 길이, 폭 및 급전점 위치를 조정하고, T-형 결함의 크기 조정을 통해 최적화하였다. 최종 MPA의 형태와 크기 사양은 그림 5와 표 2와 같다.

골절 회복시 발생하는 캘러스 층은 그림 4와 같이 다리 뼈 상에 폭 1.0mm, 길이 10.0mm, 높이(bc_h) 2.0mm의 직육면체로서 안테나의 H-면에 평행하게 위치한다.

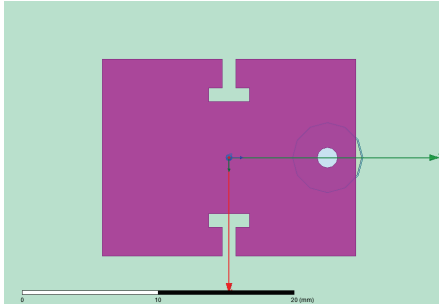


그림 5. T-형 결함 MPA
Fig. 5 MPA with T-type deefect

표 2. T-형 결함 MPA의 크기
Table 2. Size of MPA with T-type defect

Division	size(mm)	remark
W	14.4	
L	18.62	
xf	2.08	
ls1	2.1	T- type defect
ws1	1	
ls2	2.98	
ws2	1	

다리 골절의 완전 회복 즉, 갭러스의 높이가 0.0mm일 경우, 표 2의 크기 사양을 가진 MPA의 반사손실은 HFSS로 모의실험하여, 주파수 대역 3.5 ~ 4.5GHz에 대하여 그림 6에 도시하였다. 정상 팬텀 상에서 MPA의 반사손실 결과는 공진주파수 $f = 4.0196\text{GHz}$ 에서 $S_{11} = -66.71\text{dB}$ 이다.

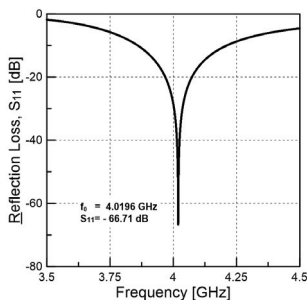
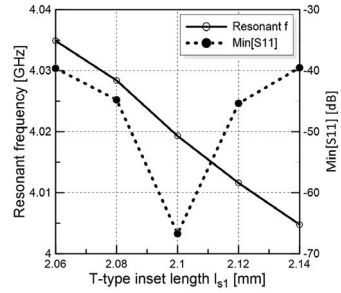
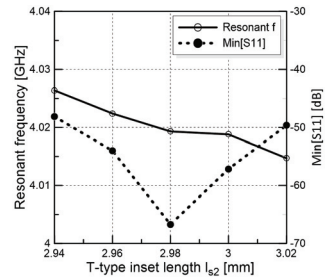


그림 6. 정상 다리 팬텀 상에서 쌍 T-형 결함을 갖는 MPA의 반사손실

Fig. 6 Return loss of MPA with dual T-type defectiveness on the normal leg pantom



(a)



(b)

그림 7. 정상 팬텀 상에서 쌍 T-형 결함의 반사손실과 공진주파수($bc_h=0.0\text{mm}$) : (a) ls_1 변화 (b) ls_2 변화
Fig. 7 Return loss and of MPA with T-type on the normal phantom($bc_h=0.0\text{mm}$) : (a) for ls_1 change (b) for ls_2 change

그림 7은 갭러스 층 높이 $bc_h = 0.0\text{mm}$ 인 다리뼈가 정상인 팬텀 상에서 쌍 T-형 결함을 갖는 MPA가 기구 사양 표 2와 같을 때 패치의 쌍 T-형 결함에서 H-E-면의 인셋 길이 ls_1, ls_2 의 변화에 대한 공진주파수와 반사손실 결과를 도시하였다. 그림 7(a)에서 H-면의 인셋 길이 ls_1 변화(2.06 ~ 2.14 [mm])에 대하여 공진주파수가 평균 기울기 3.76 MHz / 0.01mm로 선형적으로 낮아 짐을 알 수 있으며, 최대 반사손실 차 ΔS_{11} 은 27.21dB 이다. 그림 7(b)에서 E-면의 인셋 길이 ls_2 변화 (2.94 ~ 3.02 [mm])에 대하여 공진주파수가 평균 기울기 1.46 MHz / 0.01mm로 선형적으로 낮아짐을 알 수 있으며, 최대 반사손실 차 ΔS_{11} 은 18.58dB 이다. 안테나의 공진주파수와 반사손실은 패치의 길이 L과 폭 W으로 1차 조정이 가능하고, 그림 7의 결과로부터 T-형 결함의 길이 ls_1 과 ls_2 로 미세 조정이 가능하다는 것을 알 수 있다.

골절 회복시 발생된 폭 1.0mm, 길이 10.0mm, 높이

2.0mm 의 직육면체 켈러스 층이 안테나의 H-면에 평행하게 다리 뼈 상에 위치하고, 완전 회복 즉, 높이가 0.0mm까지 변화하는 경우, 표 2의 기구 사양을 가지는 MPA의 반사손실 모의실험 결과는 주파수 대역 4.00 ~ 4.04GHz에 대하여 그림 8에 도시하였다. 그림 8(a)에서 다리뼈가 정상 상태 bc_h = 0.0mm인 경우 주파수 f = 4.0196GHz 반사손실 S11 = -66.71dB 이고, 회복 상태인 켈러스 층의 높이 bc_h = 2.0mm 인 경우 f = 4.0198GHz에서, S11 = -28.76dB 이다. 회복 상태와 정상 상태 경우와의 반사손실차 ΔS_{11} = 37.95dB 이다.

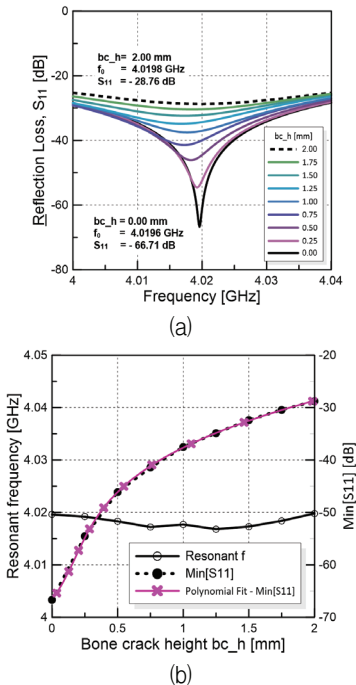


그림 8. 정상 팬텀 상에서 MPA의 반사손실과 공진주파수 : bc_h 0.0 ~ 2.0mm 변화

Fig. 8 Return loss and resonant frequency of MPA on the normal phantom(bc_h=0.0mm) : for bc_h 0.0 ~ 2.0mm change

회복상태 bc_h = 1.0mm 인 경우 공진주파수 f = 4.0168GHz로 공진주파수 최대 변동폭은 약 3.0 MHz 이다. 골절 회복과정은 새로운 뼈인 켈러스 층 돌출 두께의 감소와 연관된 공진주파수와 반사손실을 모니터링함으로써 정량적으로 추정할 수 있다. 그림 8(b)

는 bc_h 변화에 대하여 공진주파수와 반사손실 변화 추이를 도시하였으며, 적색 실선은 $\text{Min}[S_{11}](=X)$ 에 대하여 켈러스 층 돌출 두께 bc_h(=Y)를 3차 다항식으로 근사피팅한 것으로 식 (5)와 같다.

$$X(Y) = A_0 + A_1 Y + A_2 Y^2 + A_3 Y^3 \quad \dots(5)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 피팅 계수 } A_0 &= 10.857966 \\ A_1 &= 0.5113466 \\ A_2 &= 0.0084400 \\ A_3 &= 4.8193538 \times e^{-5} \end{aligned}$$

이 3차 다항식의 RSS = 1.4751, $R^2 = 0.9988246$, P-value = 0.0001841로서 매우 높은 예측 적합성을 가진다.

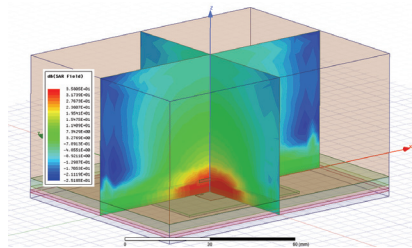


그림 9. MPA에 의한 다리 골절 팬텀의 SAR 특성
Fig. 9 SAR characteristics of lower leg fracture phantom by MPA

그림 9는 전자파 에너지가 MPA 안테나로부터 켈러스 층 두께 bc_h = 1.0mm 인 골절 상태인 다리로 흡수되는 정도를 표시한 SAR 특성을 안테나의 중심에서 XZ, YZ 평면상에 도시하였다. 표면 근처에서 에너지 흡수가 35.81dB(=61.73 w/Kg)로 매우 크고 뼈로 에너지의 일부가 흡수됨을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 다리 골절 회복 모니터링을 위한 팬텀에서 동작하는 쌍 T-형 결함을 갖는 동축급전 마이크로스트립 패치 안테나(MPA)를 설계하여 제안하였다. 설치되는 인체는 다리 주변으로 5층 평면 유전체층으로 모델링하여 적용하였다.

유한요소법(FEM) 기반 3D 모의실험 소프트웨어인 HFSS에 의한 주파수 4.02GHz에서 최적화 결과는 정

상 팬텀 위에서 MPA 패치 크기는 14.4mm × 18.62mm이고, 동축급전의 위치 x_f 는 2.08mm로 조정되었으며, 반사손실 특성을 개선하기 위해서 T-형 결합의 길이 l_{s1} , l_{s2} 를 조정하였다. 갠리스 층의 높이 범위가 0.0 ~ 2.0mm 인 경우 반사손실 차 ΔS_{11} 는 37.95dB이고, 높이 변화에 대한 최대 공진주파수 차 Δf 는 약 3.0 MHz이다. 회복에 따른 반사손실 변화에 대한 갠리스 층 높이를 예측할 수 있도록 3층 다항식 모델을 제시하였으며, 이 다항식의 $RSS = 1.4751$, $R^2 = 0.9988246$, P-value = 0.0001841로서 높은 예측 적합성을 가졌다.

이 제안된 안테나는 향후 On-body용으로 다리 주변 지방 및 근육량, 골밀도 그리고 골절 회복 상태를 감시하는데 사용할 계획이다.

References

- [1] B. Kim, L. Yun, S. Lee, Y. Park, and J. Hong, "Design and Simulation of an On-body Microstrip Patch Antenna for Lower Leg Osteoporosis Monitoring," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences(KIECS)*, vol. 16, no. 4, 2021, pp. 763-770.
- [2] S. B. S. Akram, N. Qaddoumi, and H. Al-Nashash, "Novel near-field microwave bone healing monitoring using open-ended rectangular waveguides," 2006 IEEE GCC Conference(GCC), Manama, Bahrain, 2006, pp. 1-5.
- [3] P. Hall, "Antennas and propagation for body centric communications," In *Proc. IET Seminar Antennas and propagation: Body-Centric Wireless Communications*, London, U.K., Apr. 2007, pp. 1-4.
- [4] S. Gabriel, R. W. Lau, and C. Gabriel, "The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues," *Phys. in Med. & Biol.* vol. 41, 1996, pp. 2271-2293.
- [5] B. Kim, S. Lee, Y. Park, and J. Hong, "Analysis of Electromagnetic Wave Characteristics of Microwave Nondestructive Device for Inspecting Human Lower Leg," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences(KIECS)*, vol. 16, no. 2, Apr. 30, 2021, pp. 385-394.
- [6] H. Elftouh, N. A. Touhami, and M. Aghoutane, "Miniaturized Microstrip Patch Antenna with Spiral Defected Microstrip Structure," In *Progress Electromagnetics Research Letters*, vol. 53, 2015, pp. 37-44.
- [7] J. Hong, H. Son, and B. Kim, "Fabrication of CSLR-loaded Inset Fed Patch Antenna with a Conducting Reflector," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences(KIECS)*, vol. 11, no. 11, Nov. 2016, pp. 1047-1052.
- [8] Y. Park, "A study of Patch Antenna for 6GHz," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences(KIECS)*, vol. 17, no. 6, Dec. 2022, pp. 1063-1068.
- [9] J. Yoon and C. Yu, "Design and Fabrication of Dual Linear Polarization Stack Antenna for 4.7GHz Frequency Band," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences(KIECS)*, vol. 18, no. 2, Apr. 2023, pp. 251-258.
- [10] J. Yoon, "Design and Fabrication of Dual Linear Polarization Antenna for 28 GHz Band" *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences(KIECS)*, vol. 17, no. 1, Feb. 2022, pp. 13-22.

저자 소개



김병문(Byung-Mun Kim)

1986년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1988년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2015년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1990년~1997년 LG정밀 선임연구원

1997년~현재 경북도립대학교 전기전자과 교수

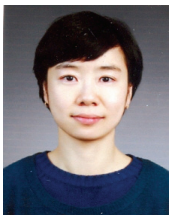
※ 관심분야 : 레이더시스템, 마이크로파 부품 및 탐침 등



윤리호(Li-Ho Yun)

1989년 경북대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1992년 경북대학교 대학원 전자
공학과 졸업(공학석사)

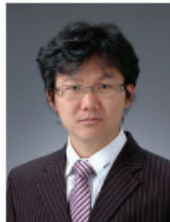
1998년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1998년~현재 경북도립대학교 전기전자과 교수
※ 관심분야 : 안테나, 마이크로파 부품 및 전자파
산란 등



이상민(Sang-Min Lee)

1996년 계명대학교 공중보건학과
졸업(보건학사)
1999년 계명대학교 공중보건학과
대학원 졸업(보건학석사)
2003년 계명대학교 공중보건학과
대학원 졸업(보건학박사)

2005년 ~ 경북도립대학교 응급구조과 교수
※ 관심분야 : 병리독성, 생리활성, 응급의료 등



박연택(Yeon-Taek Park)

2013년 대구대학교 정보통신과
졸업(공학사)
2022년 금오공과대학교 대학원
민군IT융합과 재학

2016년~현재 탐런토탈출루선 책임연구원
※ 관심분야 : 마이크로파 부품 및 임베디드 알고
리즘 등



홍재표(Jae-Pyo Hong)

1981년 경북대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1983년 경북대학교 대학원 전자
공학과 졸업(공학석사)

1989년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1990년~현재 경일대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 평면 안테나 설계, 전자파 산란