MICS 대역과 ISM 대역에서 인체 전기적 상수를 갖는 준(準) 고체형 플랫 팬텀 제작

The Study on Implementation of a Semi-Solid Flat Phantom with Equivalent Electrical Properties to Whole Human Body at MICS and ISM Band

이순용 · 서원범 · 권 결 · 최재훈

Soonyong Lee · Wonbum Seo · Kyeol Kwon · Jaehoon Choi

요 약

MICS 및 ISM 대역의 무선기기 설계 시에 인체 팬텀을 이용한 성능검증이 필수적으로 요구되고 있으나, 인체 팬텀에 관한 연구 대부분이 휴대폰에 의한 생체 영향에 국한되어 있는 실정이다. 본 논문에서는 FCC에서 제안하고 있는 MICS 대역과 ISM 대역의 인체 팬텀에 대한 전기적 상수를 이용하여 준고체형 팬텀들을 제작하였다. 제작된 준 고체형 팬텀들은 각 대역에서 FCC에서 제시한 전기적 상수(MICS 대역에서 $\epsilon_r=56.7$, $\sigma=0.94$, ISM 대역에서 $\epsilon_r=52.7$, $\sigma=1.95$)들을 만족하였다. 또한, 제작된 준 고체형 팬텀의 재료들은 쉽게 구매 가능한 재료들로 구성되었으며, 팬텀 재료의 다양성을 위해서 각 대역에서 polyethylene과 TX-151을 이용한 방법과 글리세린을 이용한 두 가지 방법을 제시하였다. 제작된 준 고체형 팬텀은 평탄한 형태이며, 유전을 측정기로 제작후 1일(24 시간)이 경과한 후 팬텀의 전기적 특성을 측정하였다.

Abstract

When wireless devices for MICS(Medical Implant Communication Service) or ISM(Industrial Scientific and Medical) bands are designed, it is necessary to verify the performance by using a human body flat phantom. However, most of studies on the phantom are limited to the biological effects of mobile-phone EMF. In this paper, semi-solid phantoms having the electric properties suggested by FCC at MICS and ISM bands are fabricated. The manufactured phantoms satisfy the electric properties($\epsilon_r=56.7$ and $\sigma=0.94$ at MICS band, $\epsilon_r=52.7$ and $\sigma=1.95$ at ISM band) at each band. All the composing materials for phantoms are commercially available in domestic market. Two methods using both polyethylene powder and TX-151 and glycerin at each band are proposed for diverse purpose. The electrical properties of the fabricated phantoms are measured by a dielectric probe kit and network analyzer after the lapse of one day (24 hours).

Key words : Semi-Solid Phantom, Human Body, MICS, ISM, FCC

I. 서 론

최근 무선통신과 바이오 기술에 발전의 따라

WBAN(Wireless Body Area Network) 기술이 주목받고 있다. WBAN은 사람이 착용하는 옷이나 인체 내부와 외부에 부착된 여러 기기들로 구성된 무선 네

「본 연구는 방송통신위원회의 전파방송위성원천기술개발사업의 연구결과로 수행되었음(KCA-2011-11911-01109).」

한양대학교 전자컴퓨터통신공학부(Department of Electronic & Computer Engineering, Hanyang University)

· 논문 번호 : 20111121-145

· 교신저자 : 최재훈(e-mail : choijh@hanyang.ac.kr)

· 심사일자 : 2012년 1월 4일 · 수정완료일자 : 2012년 1월 4일

트위크로 인체를 중심으로 센서와 구동체 간의 결합을 통해 통신이 이루어지는 새로운 유형의 네트워크이다^[1]. WBAN은 의료 서비스, 국방 및 착용형 컴퓨터 등 다양한 분야에 적용이 가능하며, 특히 의료용 이식형 통신 서비스(MICS) 및 모니터링 서비스(ISM 대역 주파수를 사용함)에 많은 연구가 이루어지고 있다^{[2]~[7]}. 이러한 이식형 및 착용형 기기들의 개발 및 성능 검증을 위해서 인체와 동일한 전기적 특성을 갖는 인체 팬텀이 필요하다.

하지만 지금까지의 인체 팬텀에 관한 연구들은 모바일 안테나 또는 모바일 주파수에 초점이 맞추어져 있을 뿐만 아니라, 액체형 팬텀들이 많이 사용되었다^[8]. WBAN 연구에서 액체형 팬텀들의 문제점은 이식형의 경우에는 안테나의 방수와 안테나의 커넥터가 인체 등가 용액에 닿음으로써 생기는 문제들로 인하여 안테나의 성능을 정확하게 평가하기가 어렵고, 착용형의 경우에는 액체형 팬텀을 위한 용기의 전기적 특성 값에 의한 오차 때문에 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 달라진다. 또한, 이식형과 착용형 안테나의 방사 패턴을 측정할 경우, 챔버 안의 터널이블 작동 시 액체의 흔들림으로 정확한 방사 패턴을 측정하기 어렵다. 기존에 해외업체에서 준 고체형 또는 고체형 팬텀들이 연구되고 판매하고 있지만, 상반신 팬텀의 경우 수 천 만원대의 높은 가격으로 쉽게 구매가 어려운 실정이다^[9].

국내외에서 준고체 또는 고체 팬텀의 제작에 관한 논문이 발표된 바가 있으나^{[10]~[12]}, 국내외 논문에서는 MICS 대역과 ISM 대역에서 FCC가 제시하는 비유전율과 도전율 특성의 목표 값이 아니며, 또한 단순 조성비만을 제시하고 있기 때문에 팬텀의 경우에는 제작 방법(또는 순서)에 따라서 그 특성이 달라질 수 있어서 조성비만을 이용하여 준고체 또는 고체 팬텀을 구현하기 어렵다.

본 논문에서는 MICS 대역과 ISM 대역에서 FCC가 제시한 인체와 등가적인 전기적 특성을 갖도록 polyethylene powder와 TX-151을 이용하여 준 고체형 팬텀을 제작하는 방법과 글리세린을 이용하여 제작하는 방법을 제시하였고, 유전율 측정기를 이용하여 제작된 준 고체형 팬텀의 성능을 검증하였다.

II. 팬텀의 일반적인 요구 사항 및 재료

일반적으로 팬텀은 다음과 같은 요구사항을 만족할 수 있어야 한다.

- 1) 팬텀 제작을 위한 재료를 쉽게 얻을 수 있어야 하며, 팬텀을 만들기 위해 어떤 특별(또는 특수)한 장치가 없더라도 제작이 가능해야 한다.
- 2) 제작비용이 낮아야 한다.
- 3) 독성이 없어야 한다(인체에 무해).
- 4) 균질성을 유지해야 한다.
- 5) 넓은 주파수 대역에서 전기적 특성들을 만족해야 한다.
- 6) 오랜 기간 동안 전기적 특성들을 유지해야 한다.
- 7) 물리적 특성이 잘 알려진 것이어야 한다.

하지만 팬텀 특성들은 팬텀을 구성하는 재료에 따라 달라지기 때문에 위의 모든 사항을 만족하기란 어렵다. 예를 들어 액체 팬텀의 경우에는 균질성은 보장되지만, 광대역 특성은 액체 재료의 특성상 구현하기 어렵다.

본 논문에서 제시된 팬텀들은 복합 재료들을 이용하여 위에 언급된 7가지의 특성을 갖도록 구현하였으며, 7가지 특성 외에 다음과 같은 특성을 더 갖는다.

- 1) 팬텀의 전기적 특성 조절의 용이성
- 2) 팬텀 모양 가공의 용이성
- 3) 액체형 팬텀과 다르게 팬텀을 위한 용기가 필요하지 않음

준고체형 팬텀에 들어가는 재료들로는 증류수, NaCl, NaNO₃, Agar, polyethylene powder, TX-151과 글리세린이다. 여기서 증류수는 모든 고체 팬텀 비(比) 유전율의 기준이라고 할 수 있다. NaCl은 도전율을 조절하며, 글리세린과 polyethylene powder는 비유전율을 조절한다. 또한, NaNO₃는 팬텀을 장기간 사용할 수 있도록 방부제 역할을 하며, Agar는 액체 형태의 팬텀 재료들을 고형화 시켜준다. 마지막으로 TX-151은 미국의 Oil Center Research에서 판매하는 고형제(solidifying powder)의 상품명으로, 친수성 유기고분자 화합물(hydrophilic organic polymer) 속에 해당하는 물질이다. 기본적으로는 액체와 섞음으로써 용매를 준고형화하며, 의료 산업 분야에서 암, X-레이 등

의 연구에 사용되는 모의 인체를 제작하는데 사용되며, 본 논문에서는 TX-151을 이용하여 팬텀이 점착성 특성을 갖게 한다.

III. Polyethylene Powder와 TX-151을 이용한 팬텀

액체 팬텀과 준고체형 팬텀 제조에 증류수를 이용하게 된다. 그림 1에 MICS 대역과 ISM 대역에서 순수한 증류수의 비유전율과 도전율을 나타내었다. 증류수는 그림 1(a), (b)에서 보는 바와 같이 전 주파수 대역에서 80 정도의 비유전율을 갖게 되는데, 이 증류수의 고유한 비유전율을 다양한 재료들을 이용하여 관심 주파수 대역에 맞는 비유전율로 낮추게 되며, polyethylene powder가 그 역할을 하게 된다.

Polyethylene powder의 입자 크기는 평균 $35\ \mu\text{m}$

그림 1. 측정된 증류수의 비유전율과 도전율
Fig. 1. Measured ϵ_r and σ of deionized water.

이하를 사용하여야 팬텀의 균질성을 확보할 수 있다. 또한, 본 논문의 polyethylene powder의 성분은 HDPE(High Density Polyethylene)으로써 분자량은 $3 \times 10^4\ \text{g/mol}$ 이다. 그림 1(a), (b)에서 같이 증류수의 낮은 도전율은 NaCl의 함량으로 관심주파수 또는 관심대역에 맞도록 조절하게 된다.

SAR 측정 표준에서 액체 플랫폼 팬텀의 비유전율은 $\pm 5\%$ 의 오차 범위를 가지며, 도전율도 $\pm 5\%$ 의 오차 범위를 갖게 된다. 단, 2 GHz 이상에서는 비유전율의 오차 범위는 $\pm 10\%$ 까지 가능하다^{[13][15][16]}. 이와 같은 오차 범위를 준고체형 팬텀에도 적용하게 된다.

MICS 대역과 ISM 대역 팬텀의 제조 방법은 동일하며, 다음과 같다.

- 1) 증류수, NaCl, NaN_3 , Agar를 넣고, 증류수에 녹여준다.
- 2) 혼합된 용액을 가열하며 저어준다.
- 3) Agar에 의해 점도가 높아지면 TX-151을 넣어서 잘 저어준다.
- 4) 마지막으로 polyethylene powder를 넣고 혼합한다.
- 5) 완성된 용액을 굳히기 위한 틀에 붓고 건조시킨다.

MICS 대역은 402~405 MHz이고, ISM 대역은 2.4~2.48 GHz이다. FCC에서 제시된 사람의 비유전율과 도전율은 MICS 대역에서는 $\epsilon_r = 56.7$ 이고, $\sigma = 0.94$ 이며, ISM 대역에서는 $\epsilon_r = 52.7$ 이고, $\sigma = 1.95$ 이다. 표 1에 MICS 대역과 ISM 대역에 따른 각 재료들의

표 1. MICS과 ISM 대역을 위한 준고체형 팬텀의 물질 및 구성비

Table 1. Composition of materials used for semi-solid phantom at MICS and ISM bands.

성분	구성비(%)	
	MICS 대역	ISM 대역
증류수	85.7	86.3
NaN_3	0.05	0.05
TX-151	2.1	2.1
NaCl	0.55	0.45
Polyethylene powder	9	8.4
Agar	2.6	2.7

구성비를 나타내었다.

표 1에 나타내어진 구성비를 이용하여 팬텀을 제

(a) MICS 대역

(a) MICS band

(b) ISM 대역

(b) ISM band

(c) 제작된 준고체형 팬텀

(c) Fabricated semi-solid phantom

그림 2. 측정된 준고체형 팬텀의 비유전율과 도전율
Fig. 2. Measured ϵ_r and σ of semi-solid phantom.

작하였으며, 제작된 팬텀의 성능을 검증하기 위해서 Agilent사의 85070E 유전율 probe kit와 8719ES 네트워크 분석기를 사용하였다. 측정은 준고체형 팬텀을 제작한 후 1일(24시간)이 경과한 후 측정하였다. 그림 2(a), (b)에 제작된 준고체 팬텀의 비유전율과 도전율의 특성을 나타내었다. 또한, 제작된 준고체형 팬텀의 실물을 그림 2(c)에 나타내었다.

그림 2에서 제작된 준고체형 팬텀은 MICS 대역과 ISM 대역에서 FCC가 제시하는 비유전율과 도전율의 오차 범위를 충분히 만족한다. 제작된 팬텀의 특성으로 제작된 팬텀은 단면을 자른 후에 붙여 놓고 일정 시간이 흐르면 TX-151 재료의 점착성 성질에 의해서 잘 붙는 특성도 확인하였다.

제작된 준고체형 팬텀의 짧은 시간의 경기 변화를 확인하기 위해서 5일 동안(1~2 °C로 냉장 보관하였음) 24시간 간격으로 측정을 실시하였으며, 측정결과와 초기 측정 결과 값 대비 변화가 거의 없었다.

IV. 글리세린을 이용한 팬텀

글리세린을 이용한 준고체형 팬텀의 경우에는 polyethylene powder와 TX-151를 이용하는 팬텀에 비하여 재료비가 적게 들며, 팬텀의 고형 형태가 더 딱딱하다. 또한, 제작시에 미세가루의 날림이 없어 제작이 용이할 뿐만 아니라 제작 시간이 더 짧다.

글리세린 팬텀의 제조 방법은 다음과 같다.

- 1) 글리세린과 증류수를 넣고 완전히 혼합되게 섞어준다.
- 2) 완전히 혼합되면 NaCl과 Agar을 넣고 혼합하여 준다.
- 3) 혼합된 용액을 가열하면서 저어준다.
- 4) Agar에 의해 혼합된 용액의 점성이 생기면 교반기를 이용하여 식히면서 섞어준다.
- 5) 완성된 용액을 굳히기 위한 틀에 붓고 건조시킨다.

글리세린 팬텀의 경우도 FCC에서 제시된 인체 등이 비유전율과 도전율을 이용하였다. 표 2에 MICS 대역과 ISM 대역에 따른 각 재료들의 구성비를 나타내었다. 표 2에서 방부제 역할인 NaN_3 가 사용되지 않은 이유는 글리세린이 비유전율을 조절하는 기능과 함께 부패를 방지하는 역할을 하기 때문이다.

표 2. MICS와 ISM 대역을 위한 준고체형 글리세린 팬텀의 물질 및 구성비

Table 2. Composition of the materials used for semi-solid glycerin phantom at MICS and ISM bands.

성 분	구성비(%)	
	MICS 대역	ISM 대역
증류수	49	65.3
NaCl	3	1.4
글리세린	44	28
Agar	4	5.3

표 2에 나타내어진 구성비를 이용하여 글리세린 팬텀을 제작하였으며, 글리세린 준고체형 팬텀의 경우에도 polyethylene powder 준고체형과 동일한 방법으로 1 일(24 시간)이 경과한 후에 측정하였다. 그림 3(a), (b)에 제작된 준고체 팬텀의 비유전율과 도전율의 특성을 나타내었다. 또한, 제작된 글리세린 준고체형 팬텀의 실물을 그림 3(c)에 나타내었다.

그림 3에서 MICS 대역의 경우에는 polyethylene powder를 이용한 팬텀과 비슷한 성능이 나타나지만, ISM 대역에서는 주파수에 따른 팬텀의 비유전율의 변화가 심하다. 글리세린 팬텀은 polyethylene powder 팬텀과 다르게 점착성 성질은 가지지 않으며, 글리세린의 재료의 특성상 기포들이 많이 발생하여 제조 시에 기포들을 제거해야 한다. 발생하는 기포들은 제작 과정 중에 교반기를 이용하여 섞어주는 시간을 충분히 하고, 그 후에 나머지 기포들은 팬텀이 굳기 전에 고무 주걱 또는 송곳과 같이 끝이 뾰족한 도구들을 이용하여 충분히 제거할 수 있다. 기포에 의해 팬텀의 정확한 특성이 나타나지 않을 수도 있다.

글리세린의 팬텀 또한 짧은 시간의 경기 변화를 확인하기 위해서 5일 동안(1~2 °C로 냉장 보관하였음) 24시간 간격으로 측정을 실시하였으며, 측정 결과, 초기 측정 결과 값과 대비하여 변화가 거의 없었다.

V. 결 론

FCC에서 제시한 MICS 대역과 ISM 대역의 팬텀의 전기적 특성(비유전율과 도전율)을 구현할 수 있는 준고체형 팬텀을 제작하였다. 준고체형 팬텀은

(a) MICS 대역

(a) MICS band

(b) ISM 대역

(b) ISM band

(c) 제작된 준고체형 팬텀

(c) Fabricated semi-solid phantom

그림 3. 측정된 준고체형 글리세린 팬텀의 비유전율과 도전율

Fig. 3. Measured ϵ_r and σ of glycerin semi-solid phantom.

재료와 제조 방법의 다양성을 위해서 polyethylene powder와 TX-151을 이용하는 방법과 글리세린을 이용하는 방법 두 가지를 제시하였으며, 제작된 팬텀

의 측정 결과, FCC에서 제시한 비유전율($\pm 5\%$ at MICS, $\pm 10\%$ at ISM)과 도전율($\pm 5\%$)를 만족하였다. 또한, 짧은 시간의 경기 변화를 확인하기 위해서 5일 동안($1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 냉장 보관하였음) 24시간 간격으로 측정을 실시하였으며, 측정 결과, 초기 측정 결과 값 대비 변화가 거의 없었지만, 냉장 보관을 하더라도 시간과 온도, 습도 등 작업 환경에 따라 증류수의 증발은 불가피하므로 준고체형 팬텀의 사용 전에 항상 팬텀의 성능을 확인하고, 실험을 시행하는 것이 중요하다. 준고체형 팬텀은 WBAN 등 인체 통신용 전자기기들의 성능 검증에 널리 활용될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 이성협, 윤양문, 김도현, "IEEE 802.15.6 중심의 WBAN 국내의 표준화 동향", 한국통신학회지 (정보와 통신), 25(2), pp. 11-17, 2008년 2월.
- [2] T. Houzen, M. Takahashi, K. Saito, and K. Ito, "Implanted planar inverted F-antenna for cardiac pacemaker system", *Proceedings of iWAT2008*, Chiba, Japan, Mar. 2008.
- [4] J. Kim, Y. Rahmat-Samii, "Implanted antennas inside a human body: simulations, designs, and characterizations", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 52(8), pp. 1934-1943, Aug. 2004.
- [5] P. Soontornpipit, C. Y. Furse, and Y. C. Chung, "Design of implantable microstrip antenna for communication with medical implants", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 52(8), pp. 1944-1951, Aug. 2004.
- [6] Uisheon Kim, Jaehoon Choi, "An implantable antenna for wireless body area network application", *JKEES*, 10(4), pp. 206-211, Dec. 2010.
- [7] Uisheon Kim, Jaehoon Choi, "Design of a microstrip patch antenna with enhanced F/B for WBAN applications", *IEICE Transaction on Communications*, E94-B(5), pp. 1135-1141, May 2011.
- [8] 박민영, 고채욱, 김정란, 백정기, "인체 착용형 휴대 단말기에 대한 노출량 해석 연구", 한국전자과학회논문지, 17(2), pp. 207-212, 2006년 2월.
- [9] <http://www.speag.com/products/over-the-air-performance/head-phantoms>
- [10] 고채욱, 박민영, 도현정, 김정란, 정기범, 백정기, "이동통신 주파수 대역에서의 동물 실험용 국부 노출 장치 개발", 한국전자과학회논문지, 17(5), pp. 451-460, 2006년 5월.
- [11] Koichi Ito, Hiroki Kawai, "Solid phantoms for evaluation of interactions between the human body and antennas", *Proceedings of iWAT2005*, Singapore, Mar. 2005.
- [12] Yoshinobu Okano, Koichi Ito, Ichirou Ida, and Masaharu Takahashi, "The SAR evaluation method by a combination of thermographic experiments and biological tissue-equivalent phantoms", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 48(11), pp. 2094-2103, Nov. 2000.
- [13] FCC Rules and Regulations 47 CFR Part 95.
- [14] ETSI EN 301 839-1, The European Telecommunications Standards Institute, www.etsi.org.
- [15] IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate(SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques, *IEEE Std. 1528TM*, IEEE Standards Coordinating Committee, 34, Dec. 2003.
- [16] D. L. Means, W. Kwok, *Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields*, Federal Communications Commission Office of Engineering & Technology, Supplement C(Edition 01-01) to OET Bulletin 65(Edition 97-01), Jun. 2001.

이 순 용

2006년 2월: 서경대학교 정보통신
공학과 (공학사)
2006년 3월~현재: 한양대학교 전
자통신컴퓨터공학과 석·박사 통
합과정
[주 관심분야] EMI/EMC, 수치해석,
안테나 설계

권 결

2010년 2월: 건국대학교 전자공학
과 (공학사)
2006년 3월~현재: 한양대학교 전자
컴퓨터통신공학과 석·박사 통합
과정
[주 관심분야] 안테나, WBAN, Me-
tamaterial

서 원 범

2010년 2월: 서경대학교 전자공학과
(공학사)
2010년 3월~현재: 한양대학교 전자
컴퓨터통신공학과 석사과정
[주 관심분야] EMI/EMC, 안테나,
WBAN

최 재 훈

1980년: 한양대학교 전자공학과 (공
학사)
1986년: 미국 Ohio State University
전기공학과 (공학석사)
1989년: 미국 Ohio State University
전기공학과 (공학박사)
1989년~1991년: 미국 Arizona State
University 연구교수
1991년~1995년: 한국통신위성사업단 연구팀장
1995년~현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수
[주 관심분야] 안테나 및 마이크로파 회로 설계, EMI/EMC