

RFID 장비에 의한 인체 유도 전류의 등가 안테나 모형 연구

Research on an Equivalent Antenna Model for Induced Human Body Current by RFID Equipments

이종건 · 변진규* · 최형도** · 천창울*** · 이병제 · 정용식

Jong-Gun Lee · Jin-Kyu Byun* · Hyung-Do Choi** · Chang-Yul Cheon*** ·
Byungje Lee · Young-Seek Chung

요 약

최근 몇 년간 전자파 관련 장비 사용이 증가함에 따라 전자파의 인체 영향 또한 관심이 증가하고 있으며, 또한 이러한 영향을 구체적으로 파악하기 위한 연구가 진행 중이다¹⁾. 이에 대한 일환으로 이동 통신 단말기에 의한 전자파 인체 흡수율(SAR)에 의한 국내외 표준 제정에 관한 연구가 활발히 진행되었다. 그러나 인체에 대한 침투력이 상대적으로 큰 단파 대역(HF: High Frequency)에 의한 인체 유도 전류에 대한 표준은 연구가 미흡한 편이다. 특히 교통 카드와 도서관 등에서 사용되는 RFID 장비의 활발한 도입으로 RFID 장비의 방출 전자파에 의한 인체 영향 연구가 절실하다. 본 논문은 단파 대역인 13.56 MHz에서 동작하는 RFID 장비에 의하여 인체에 유도되는 전류와 유사한 유도 전류값을 갖는 실린더형 인체 등가 안테나 모형을 설계 및 제작함으로써 RFID 장비의 방출 전자파에 의한 인체의 영향을 양적으로 파악하고, 인체와 인체 등가 모형에 유기되는 유도 전류의 유사성을 확인하였다.

Abstract

Recently, according to the increase of using the microwave equipments, the interests in effects on human body have been also increased. For example, there have been many researches on making the standard the specific absorbing ratio (SAR) caused by mobile phones. However, it is needed to study on the induced current on human body caused by HF(Hight Frequency) band which can deeply penetrate the human body. Especially, since the RFID systems are applied to the transportation card and the library, it is needed to research on the effect on human body exposed to the radiated power from the RFID system. In this paper, we designed a cylindrical monopole antenna model of human body exposed to 13.56 MHz RFID system, which can model the induced current on human body. To verify the proposed equivalent antenna model, we compared the induced currents between human body and the equivalent antenna model.

Key words : Induced Current, Human Model, Equivalent Antenna Model, RFID

I. 서 론

최근 RFID 장비의 활발한 도입으로 RFID 방사 전

자파의 인체 영향에 대한 관심과 우려가 커지고 있다. 전자파는 인체에 체온의 상승과 유도 전류에 의한 신경 자극 등의 영향을 주어 건강에 나쁜 영향을

광운대학교 전파공학과(Department of Wireless Communications Engineering, Kwangwoon University)

*숭실대학교 전기공학과(School of Electrical Engineering, Soongsil University)

**한국전자통신연구원 전자파환경연구팀(EM Environment Research Team, Electronics and Telecommunications Research Institute)

***서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부(Department of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul)

· 논문 번호 : 20080321-039

· 수정완료일자 : 2008년 7월 9일

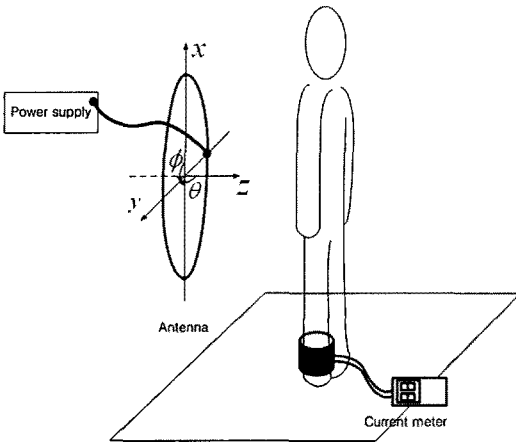


그림 1. 인체 유도 전류 측정 예
Fig. 1. Measurement of induced current on human body.

줄 수 있는 가능성이 보고되고 있다^[2]. 그러나 아직까지 우리나라의 인체 보호 기준은 이동 통신 단말기에 의한 영향을 기준으로 하고 있으며, 국부적 SAR(Specific Absorption Rate)에만 의존하고 있어 상대적으로 낮은 주파수 대역을 사용하는 단파 대역의 RFID 장비의 보급에 따라 이를 평가할 수 있는 새로운 전자파 보호 기준을 필요로 한다. 이에 따라 SAR를 이용한 평가 기준과 달리 직접적으로 영향을 미치는 인체 유도 전류에 대한 연구 역시 그 필요성이 높아지고 있다. 인체 유도 전류 측정은 그림 1과 같이 인체에 전류 측정기를 착용하여 실시되지만 인체 실험에 대한 제약 등으로 인체 유도 전류와 유사한 특성을 갖는 등가 안테나에 대한 연구가 필요하다. 그러므로 이를 인체 등가 모형으로 대체함으로써 인체에 대한 영향을 정량적으로 파악하고 측정의 실용성과 범위를 넓힐 수 있다.

본 논문에서는 인체를 대체할 수 있는 등가 안테나 모형의 구조를 제안, 제작 및 측정하였다. 인체 모형은 이미 SAR 등에서 팬텀 물질로 사용하고 있으나, 인체 유도 전류를 위한 모형에서는 주파수에 대한 물질 특성뿐만 아니라 인체의 크기 등에 대한 고려가 필요하다. 그러므로 인체를 실험 목적에 맞는 유사한 조건으로 등가화 하여 측정과 실험이 이루어져야 한다. 따라서 위치에 따른 인체에 유기되는 전류를 측정하고 동일한 RFID 안테나를 이용하여 인체 등가 안테나 모형의 유도 전류를 측정하여

실제 인체 유도 전류와 비교하였다.

II. 인체 모델

인체는 머리, 팔과 다리 등의 기관과 다양한 물질로 이루어져 있으므로 인체에 유도되는 전류는 구조에 의해 복합적으로 발생하게 된다^[3]. 이러한 인체의 복잡성으로 인하여 등가화나 측정의 어려움이 있다. 따라서 인체를 조건을 만족시키는 단일 물질로써 모델화 하는 과정을 필요로 한다. 이러한 인체의 구조에 대해 1970년대 이후에 이미 Spheroid 모델, Cuboid 모델과 Cylinder 모델 등에 대하여 인체와 유사한 유전율 및 도전율을 갖는 등가 구조로써 가능성을 분석하였다^{[4],[5]}. 전자파가 인체에 유기될 경우, 주파수에 따라 흐르는 전류의 양이 다르고 강한 영향을 받게 되는 부위가 다르지만, 단파 대역인 13.56 MHz의 RFID 안테나는 파장이 인체에 비하여 상대적으로 크므로 인체의 전체적인 부분에 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있다.

본 논문에서는 전자파 인체 보호 기준의 표준을 위한 설계인 만큼 인체를 모노폴 안테나와 같이 전파를 흡수하는 대상으로 보고 유사 전류를 얻어내는 실린더형 구조를 시뮬레이션 하여 등가화 하였다. 또한, 인체가 영향을 받게 되는 경우 중 신발을 착용하지 않고 인체가 RFID 안테나를 정면으로 바라보게 되는 최악의 경우를 중심으로 설계하였다. 그림 2는 전자기장에 의한 유기되는 전류의 흐름을 개념적으로 보여주고 있다. 인체 등가 안테나의 설계를

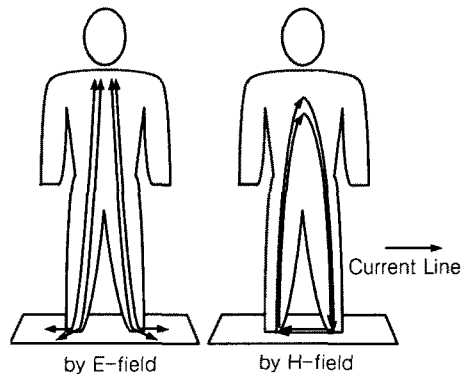


그림 2. 전자기장에 의한 인체의 유도 전류
Fig. 2. Induced current on human body by electromagnetic field.

위하여 지표면으로부터 높이 10~20 cm의 발목 부분에 유기되는 전류량을 대상으로 하여 설계하였다. 신발을 신지 않고 있는 경우, 모노폴과 같이 접지되어 있는 모델로 볼 수 있으므로 13.56 MHz 전자기장에 노출된 인체에 유도되는 전류는 대부분 몸통과 다리를 통해 지표면으로 흐르게 된다.

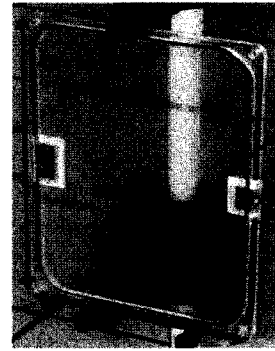
III. RFID 안테나

본 논문에서 사용한 RFID 안테나는 30×40 cm의 크기를 갖는 루프 안테나의 형태를 가지고 있으며, RF 전력 공급기로부터 20 dBm의 전력을 공급 받아 안테나 내부의 정합단을 거쳐 안테나로 전달되어 방사하게 된다. 그림 3은 실험에 사용한 RFID 안테나의 사진과 반사 손실을 보여주고 있다. 13.56 MHz의 파장에 대하여 도선 루프의 크기가 매우 작으므로 전류의 양이 비교적 균일한 small loop로 생각할 수 있다.

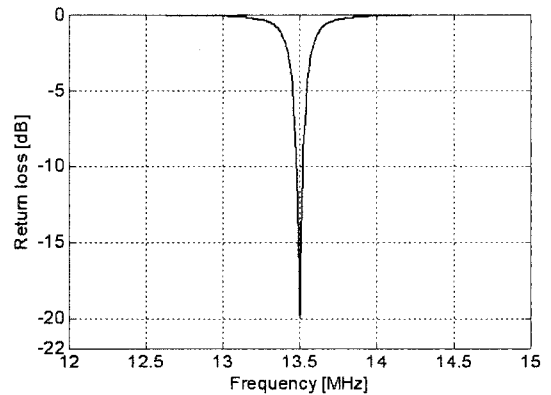
IV. 인체 유도 전류

인체의 유도 전류 및 인체 등가 모형의 RFID 안테나의 전자계가 강한 측면을 기준으로 하여 측정하였다. 실제로 안테나 중심을 기준으로 측정을 하면 유도 전류의 값이 감소함을 확인하였다. 유도 전류의 측정은 클램프형의 측정기인 Holaday사의 HI-3702 전류 측정기를 이용하였으며, 인체의 경우 발목에 채워 각 위치에서의 인체 유도 전류를 측정하였다. 인체는 신발을 신고 있지 않고 발을 동판에 접지한 상태로 측정하였으며 그림 4는 인체와 인체 등가 모형 측정에서 측정 위치(■)와 RFID 안테나의 측면 위치(●)를 나타낸다. 인체에 유기되는 전류를 측정하기 위하여 접지면에서 RFID 안테나의 중앙 높이를 0.8 m에 두고 측정하였다. 인체 유도 전류의 측정은 각 경우에 대하여, 그림 4에서 보는 것과 같이 각각 20, 30, 40 cm 거리와 RFID 안테나 정면을 0°로 보았을 때 0°, 30°, 60°에 대하여 9곳의 위치에서 측정하였다.

RFID 안테나의 중앙 부분 전기장의 세기는 측면보다 상대적으로 약할 것으로 예상할 수 있으며, 도선에 의해 보다 직접적인 영향을 받게 되는 RFID 안테나 측면을 유도 전류를 위한 안테나의 기준으로



(a) 사진
(a) RFID antenna



(b) 반사 손실
(b) Return loss

그림 3. RFID 안테나
Fig. 3. RFID antenna.

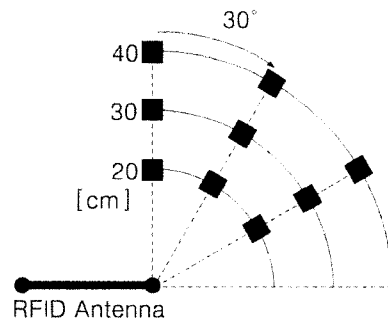


그림 4. RFID 안테나 측면 기준의 측정 위치
Fig. 4. Measurement position based on the side of RFID antenna.

선정하여 측정하였다. RFID 안테나의 높이 및 거리에 따른 측정 위치는 실제 생활에서 사용하게 되는 RFID 기기의 높이 및 사용 거리를 기준으로 삼아 0.8 m 높이와 20~40 cm의 거리를 측정 거리로 하였

표 1. 인체 유도 전류(mA)

Table 1. Induced current on human body.

	0°	30°	60°
20 cm	3.4	3.29	3.67
30 cm	2.3	2.65	3.2
40 cm	1.76	2.23	2.68

으며, 측정 각도는 RFID를 중심으로 위에서 바라보았을 때(그림 4) 4분면이 모두 대칭적으로 영향을 받는 것으로 생각할 수 있으므로, 이에 따라 0~90° 사이의 3개 지점을 측정 각도로 선정하여 실험하였다. 인체 유도 전류는 한국 22~25세 남성의 평균 신장과 몸무게와 유사한 신장 170~174 cm에 몸무게 65~72 kg인 10명의 인체에 대하여 측정하여 평균을 취하였다. 표 1은 인체 유도 전류의 측정 결과를 보여준다.

전체적인 전류의 크기는 측면에서 강하게 나타나고, 감소폭 역시 낮다는 것을 알 수 있다. 이는 RFID 안테나 측면에서 강하게 존재하는 전자계에 의한 영향으로 생각하여 볼 수 있다⁶⁾. RFID 안테나에 의해 인체에 유도되는 전류의 양은 small loop에 의한 근거리 장이므로 거리에 따라서 전체적으로 빠르게 감소하는 특징을 갖는다.

V. 인체 등가 모형 유도 전류

실린더 인체 등가 안테나는 안테나로써의 구조가 모노폴과 유사하므로 특징이 비교적 쉽게 예측되며, 전기적 구조 역시 인체의 그것과 유사할 것으로 판단되어 인체 등가 안테나 구조로 선택하였다. 인체 등가 안테나 모형은 0.2 mm의 두께를 갖는 구리판을 이용하여 원통의 형태를 갖는 모노폴로 시뮬레이션 및 제작하였다. 등가 안테나의 크기는 등가 안테나에 유기되는 전류량이 인체 유도 전류와 유사하거나 약간 큰 특성을 갖도록 시뮬레이션을 통하여 결정하였다. 그림 5는 정면 20 cm 거리에서 실린더 인체 등가 안테나 높이와 반지름에 의한 유도 전류량 변화의 시뮬레이션 결과이다. 반지름이 전류의 유기 면적을 결정하므로 민감한 특성을 보이는 것을 알 수 있으며, 120 cm 높이와 4 cm 전류량이 큰 특징을 보인다. 빗금 친 부분은 20 cm 거리에서의 인체 유

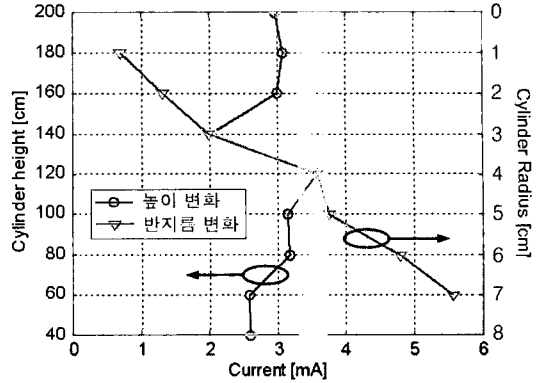


그림 5. 높이와 반지름 변화에 의한 실린더의 유도 전류 시뮬레이션

Fig. 5. Induced current simulation by variation of height and radius of cylinder.

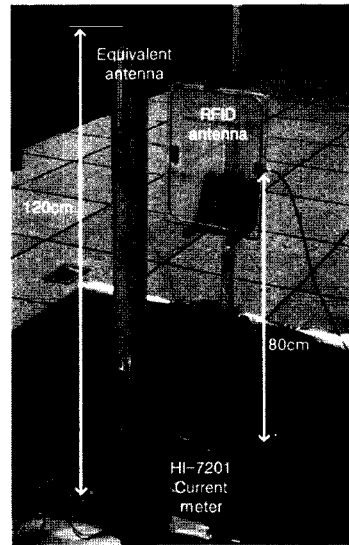


그림 6. 인체 등가 안테나 모형 측정

Fig. 6. Measurement of induced current on equivalent antenna model.

도 전류량을 나타낸다. 시뮬레이션 결과를 토대로 효과적인 등가 안테나의 제원을 결정할 수 있다.

측정 환경은 인체 측정 환경과 유사하게 바닥에 2 x 2 m 크기의 동판으로 접지시키고 전류 측정기인 클램프 HI-3702를 장착하여 실시하였다. 또한, 인체와 동일한 위치에서 등가 모형에 유기되는 전류를 측정하였다. 그림 6은 등가 안테나에 클램프를 장착하여 측정하는 사진을 보여준다. 인체 등가 모형 측정시 클램프의 위치는 인체의 실험과 동일하게 지면

표 2. 인체와 인체 등가 모형의 유도 전류(mA)

Table 2. Induced currents on human body and equivalent antenna model.

	0°		30°		60°	
	인체	실린더	인체	실린더	인체	실린더
20 cm	3.4	3.2	3.29	3.9	3.67	4.1
30 cm	2.3	2.1	2.65	2.7	3.2	3.1
40 cm	1.76	1.5	2.23	2.1	2.68	2.42

에서 10~20 cm 높이에서의 전류량을 측정하였으며, 측정상황의 동일성을 위하여 인체 유도 전류의 측정 직후 등가 안테나의 유도 전류를 측정하여 비교하였다. 표 2는 인체 및 인체 등가 안테나 모형에 유기된 전류의 양을 보여주고 있는데 매우 유사한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이로써 본 논문에서 제안한 등가 안테나 모형이 인체의 유도 전류 특성을 파악하는데 유용한 모형임을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

본 연구에서는 RFID 장비에 의한 인체 유도 전류 연구를 위하여 기본적인 유사한 등가화 특징을 갖는 인체 등가 안테나 모형을 제시하였다. 또한, 인체와 유사한 유도 전류값을 갖는 실린더형의 등가 모형을 설계하고 13.56 MHz RFID 안테나의 근거리에서 유도 전류를 측정하여 유사한 결과를 얻어낼 수 있었다. 이러한 연구와 더불어 제시된 실린더형의 등가 안테나 모형은 근거리의 등가 안테나뿐 아니라 원거리 장 또는 특수한 조건의 전자기장에서도 응용 등가 모형으로써의 역할을 충분히 할 수 있을

것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] R. W. P. King, "Electric current and electric field induced in the human body when exposed to an incident electric field near the resonant frequency", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-48, pp. 1537-1543, Sep. 2000.
- [2] IEEE Std. C95.1-2005, "IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz", *IEEE*, 2006.
- [3] J. Y. Chen, O. P. Gandhi, "Currents induced in an anatomically based model of a human for exposure to vertically polarized electromagnetic pulses", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-39, no. 1, pp. 31-39, Jan. 1991.
- [4] Y. Takahashi, T. Arima, P. Pongpaibool, S. Watanaabe, and T. Uno, "Development of a human-body equivalent antenna with tissue-equivalent liquid", *The Bioelectromagnetics Society 29th Annual Meeting*, pp. 292-295, Jun. 2007.
- [5] D. Poljak, C. Y. Tham, O. Gandhi, and A. Sarolic, "Human equivalent antenna model for transient electromagnetic exposure", *IEEE Trans. EMC*, vol. 45, no. 1, pp. 141-145, Feb. 2003.
- [6] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design 3rd*, Wiley-Interscience, pp. 231-275, 2005.

이 종 건



2007년 2월: 명지대학교 통신공학과 (공학사)
2007년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] 전자파 생체영향, EMI/EMC, 안테나

천 창 울



1983년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1985년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
1992년: 미국 University of Michigan, Ann arbor (공학박사)
1992년~1995년: 강원대학교 전기공학과 조교수
1995년~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
[주 관심분야] RF, RF Power Amplifier, EMC 등

변 진 규



1995년: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1997년: 서울대학교 전기공학부 (공학석사)
2001년: 서울대학교 전기공학부 (공학박사)
2001년 3월~2003년 3월: 성균관대학교 정보통신기술연구소 선임연구원
2003년 4월~2005년 6월: Dept. ECE, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, Post-doc 연구원
2005년 7월~2008년 2월: 한국전자통신연구원 선임연구원
2008년 3월~현재: 숭실대학교 전기공학과 조교수
[주 관심분야] 전자기장 수치해석, 전자소자 최적 설계, 유도전류 해석, 전자파 인체 노출량 평가

이 병 제



1988년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1993년 12월: 미국 Southern Illinois University 전자공학과 (공학석사)
1993년 12월: 미국 Southern Illinois University 전자공학과 (공학박사)
1998년 3월~현재: 광운대학교 전자공학과 부교수
[주 관심분야] 초고주파 안테나 해석 및 설계, 전기자기파 해석, 레이더 및 위성통신, 초고주파 응용, RF 능동 및 수동소자

최 형 도



1986년 2월: 고려대학교 재료공학과 (공학사)
1989년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학석사)
1996년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학박사)
1997년 1월~현재: 한국전자통신연구원 전자파환경연구팀장
[주 관심분야] EMI/EMC, 전자파 인체 영향

정 용 식



1989년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1991년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
2000년 8월: 서울대학교 전기공학부 (공학박사)
2001년 9월~2003년 2월: 미국 Syracuse 대학교 (Post Doctor)
2003년 3월~2006년 2월: 명지대학교 통신공학과 조교수
2006년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 부교수
[주 관심분야] 전자파 수치해석, 안테나, EMI/EMC