

# 단파(HF) 대역 RFID 리더 안테나에 의한 인체 유도 전류의 등가 안테나 모형 연구

## Research on An Equivalent Antenna Model for Induced Human Body Current by RFID Reader Antenna of HF Band

이종건 · 변진규\*\* · 최형도\*\*\* · 천창을\*\*\*\* · 이병제\* · 정용식\*

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

### 요 약

전자파의 사용 범위가 확대되고 각 분야에서의 활용도가 높아짐에 따라 인체에 대한 영향이 증가하여 이에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만 인체의 영향 연구나 인체 보호 기준이 단파기에 의한 영향은 SAR(Specific Absorption Ratio)의 연구 및 표준 활동이 활발하나 단파(high frequency) 대역에 의한 인체 유도 전류에 대한 연구는 미흡한 편이다. 본 연구에서는 근거리장에서 단파 대역 RFID 리더 안테나에 의한 인체에 유도되는 전류를 측정하고 이를 등가화 할 수 있는 수직 교차 루프 형태의 인체 등가 모형을 제시하여 인체의 유도 전류량과 비교하였다.

### Abstract

There are many researches on human effect by electromagnetic equipments and applications. However, most of research and guidelines for limiting human exposure to electromagnetic fields are established by mobile communication of SAR(Specific Absorption Ratio). Therefore we need to study different effects on human body when exposed to high frequency(HF) band equipments, such as human induced current etc. In this paper, we measured human induced current by RFID reader antenna of HF band in the near field and we propose human equivalent antenna which has orthogonal loops to each other. Then, we compared the induced currents on proposed equivalent antenna with human.

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

### I. 서 론

최근 RFID 장비의 활발한 도입으로 단파 대역 RFID 리더 안테나 방사 전자파의 인체 영향에 대한 관심이 커지고 있다. 특히 근거리 장에서의 사용이

활발한 13.56 MHz의 단파 대역 전자파는 인체의 길이에 비하여 매우 긴 파장을 가지므로 인체에 전자파가 입사되었을 때 파장이 작은 초단파(VHF)나 극초단파(UHF) 대역의 전자파보다 침투도가 강하여 인체 전신에 유도 전류를 형성하게 된다. 인체 유도

「이 논문은 2007년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.」

(주)엠티지(Microwave Technologies Group)

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

\*\*송실대학교 전기공학과(School of Electrical Engineering, Soongsil University)

\*\*\*한국전자통신연구원 전자파 환경연구팀(EM Environment Research Team, Electronics and Telecommunications Research Institution)

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

· 논문 번호 : 20081218-152

· 수정완료일자 : 2009년 6월 2일

전류에 대해 IEEE/ANSI는 3 kHz~100 MHz, 일본은 3~300 MHz를 인체 유도 전류의 측정 주파수 영역으로 지정하고 있으며, 국내에는 10~110 MHz의 주파수 범위에 대하여 손/발목의 유도 전류를 직업인 100 mA, 일반인 45 mA의 기준을 규정하고 있다<sup>[1]~[3]</sup>. 이러한 단파 대역의 RFID 장비가 교통 및 대형마트 등 많은 부분에 보급됨에 따라 이를 측정하고 평가할 수 있는 새로운 전자파 보호기준을 필요로 한다. 인체 유도 전류 측정은 전류 측정기를 착용하여 실시할 수 있지만 강한 전자파에 대한 인체 실험의 위험성이나 기능성 면에서 인체 유도 전류와 유사한 특성을 갖는 등가 안테나에 대한 연구가 필요하다. 또한, 인체를 인체 등가 모형으로 대체함으로써 인체에 대한 영향을 양적으로 파악하고 측정의 실용성과 범위를 넓힐 수 있다.

기존의 원거리 장 영역 인체 등가 모형으로 사용된 실린더형의 등가 모형은 인체를 모노폴 안테나와 같은 전계 공진 형태로 해석하고 등가화 하였으며, spheroidal형의 등가 모형은 유전율을 가지는 인체와 흡사한 크기의 구조로 등가화 하였으므로 인체와 유사한 크기의 다양한 물질로의 제작이 필요했다<sup>[4],[5]</sup>. 하지만 구면파를 갖는 근거리 장에서는 방사 안테나의 특성에 따라 전계 또는 자계를 효과적으로 이용하여 등가 모형을 설계할 수 있으므로 근접 자계 커플링 구조의 단파 대역 안테나에 대해 근거리에서 상대적으로 강한 자계를 이용하는 방법이 효과적이다<sup>[6]</sup>. 본 논문에서는 RFID 리더 안테나의 중앙을 기준으로 하여 전자계 특성을 고려하였으며, RFID 장비를 가장 빈번히 사용되게 되는 인체의 위치에 대해 측정하고 인체 영향을 분석하여 인체 등가 모형의 선정과 등가 모형의 유도 전류 실험을 하였다.

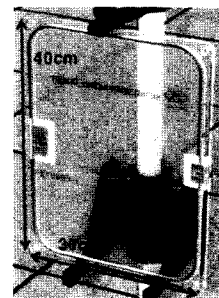
## II. RFID 리더 안테나와 인체 유도 전류 측정

본 논문에서 사용한 RFID 리더 안테나는 30×40 cm의 크기를 갖는 루프 안테나의 형태를 가지고 있으며, RF 전력 공급기로부터 18 dBm의 전력을 공급받아 안테나 내부의 정합단을 거쳐 안테나로 방사하게 된다. 그림 1은 실험에 사용한 RFID 리더 안테나의 사진과  $S_{11}$  특성을 보여주고 있다. 대상 안테나는 13.56 MHz의 파장에 대하여 도선 루프의 크기가 매

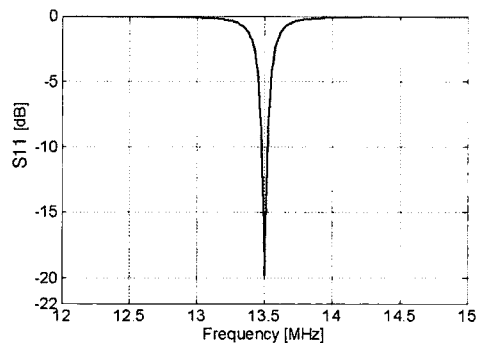
우 작으므로 전류의 양이 비교적 균일한 small loop로 생각할 수 있다.

인체의 유도 전류 및 인체 등가 모형의 유도 전류는 RFID 리더 안테나의 중앙을 기준으로 하여 측정하였다. 유도 전류의 측정은 클램프형의 측정기인 Holaday사의 HI-3702 전류측정기를 이용하였으며, 인체의 경우 발목에 채워 각 위치에서의 인체 유도 전류를 측정하였고, 등가모형의 경우 지면에 접지되는 부분에 루프를 만들어 전류측정기를 채워 측정하였다<sup>[7]</sup>. 인체는 신발을 신고 있지 않고 있는 최악의 경우(worst case)를 기준으로 하였으므로 인체의 발과 등가 모형을 모두 동판에 접지한 상태로 측정하였다. 그림 2는 인체와 인체 등가 모형 측정에서 측정 위치(■)와 RFID 리더 안테나의 측면 위치(●)를 나타낸다. 인체에 유기되는 전류를 측정하기 위하여 접지면에서 RFID 리더 안테나의 중앙 높이를 0.8 m에 두고 측정하였다.

인체 유도 전류의 측정은 각 경우에 대하여 그림 2에서 보는 것과 같이 각각 20, 30, 40 cm 거리와 RFID



(a)



(b)

그림 1. 단파 대역 RFID 리더 안테나 (a) 사진, (b)  $S_{11}$   
Fig. 1. (a) HF RFID antenna, (b)  $S_{11}$  of HF RFID antenna.

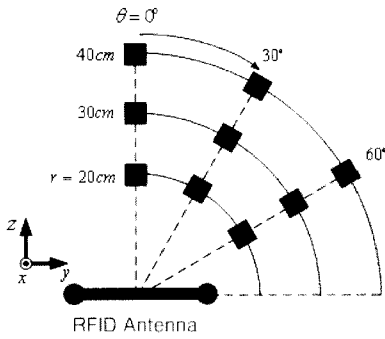


그림 2. RFID 리더 안테나 정면 기준의 측정 위치  
Fig. 2. Measurement positions based on the side of RFID antenna.

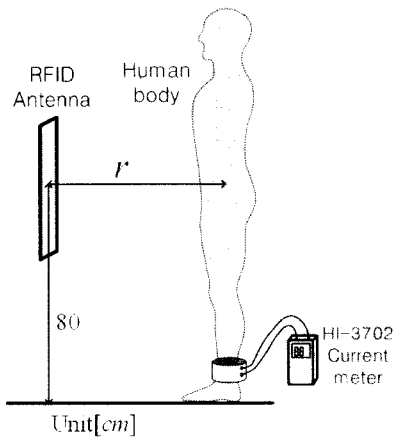


그림 3. 인체의 유도 전류 측정  
Fig. 3. Measurements of induced current on human body.

리더 안테나 정면을 0°로 보았을 때 0°, 30°, 60°에 대하여 9곳의 위치를 측정하였다. RFID 리더 안테나에 대한 인체의 영향을 알기 위하여 기준이 되는 인체의 유도 전류를 측정하였으며, 그림 3은 단파 대역 RFID 리더 안테나와 인체의 측정 위치와 클램프 위치를 보여준다.

표 1은 인체에 유기되는 유도 전류의 양을 보여준다. 파장에 비하여 인체가  $\lambda/10$ 보다 작으므로 실험 대상 인체에 부착하는 시계나 목걸이 등의 산란 영향은 무시하였고, 측정 환경적으로 영향이 있는 주변 산란체는 최소로 하여 측정하였다. 인체의 체형, 키나 자세 등에 의해 영향이 있을 것을 고려하여 20대 남성 10명의 유도 전류량을 측정하여 평균을 취하였으며, 재현성 실험에서도 인체의 유도 전류량은 0.5

표 1. 인체 유도 전류(mA)  
Table 1. Induced current on human body.

	0°	30°	60°
20 cm	2.75	3.68	3.93
30 cm	2	2.9	3.55
40 cm	1.45	2.25	2.75

mA 이하의 오차를 가지고 있었음을 확인하였다. 60° 측면에서는 인체의 위치가 RFID 리더 안테나와 근접하게 되며 도선에 의한 전계 영향을 많이 받게 되므로 강한 유도 전류량을 보이며, 전계가 약한 0°부분에서는 자체의 영향이 있음을 보여준다. 또한, 거리에 따른 유도 전류 감소량이 측면보다 중앙 부분에서 빠른 감소량을 가지는 것을 볼 수 있다.

### III. 루프형 등가안테나 설계

그림 4에서와 같은 근거리 장에서 미소 루프 안테나는  $r$ 방향과  $\theta$ 방향의 자계와  $\phi$ 방향의 전계가 생성되고 RFID 리더 안테나 0°에서도 인체 유도 전류가 생기므로 중앙 부분의 자계와 측면의 자계를 흡수할 수 있는 루프 형태의 등가 안테나가 효과적일 것으로 판단할 수 있다<sup>[6]</sup>.

수직 교차 루프형 등가 모형의 설계를 위하여 단일 등가 루프에 대한 반지름에 대한 흡수량을 확인하였다. 그림 4에서  $r$ 은 거리이며,  $a_2$ 는 루프형 등가 안테나의 반지름일 때 RFID 리더 안테나와 등가 안테나의 측면 도선이 이루는 각  $\theta_A$ 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며, 등가 안테나로 흡수되는 파워의 양  $P_2$ 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_A = \tan^{-1} \frac{a_2}{r} \tag{1}$$

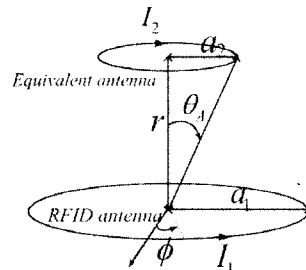


그림 4. 루프형 등가 안테나의 배치  
Fig. 4. Axis for design of loop equivalent model.

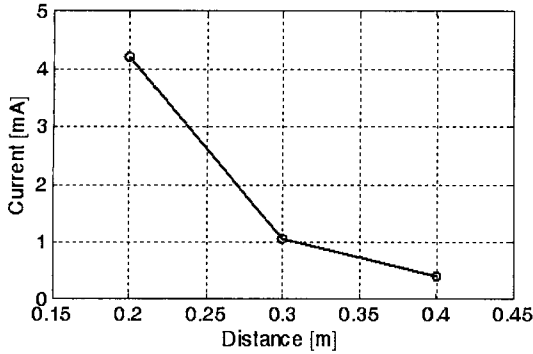


그림 5. 루프에 유기되는 전류  
Fig. 5. Induced current at loop.

$$P_2 = \eta_0 \frac{(ka_1)^4}{32} |I_1|^2 \int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_0} \left[ 1 + j \frac{1}{(kr)^3} \right] \sin^3 \theta d\theta d\phi \quad (2)$$

여기서  $k$ 는 전파상수,  $\eta_0$ 는 자유 공간 고유 임피던스, 그리고  $I_1$ 은 리더 안테나 도선의 전류를 나타낸다. 식 (3)은 파워의 양과 등가 안테나 도선의 저항  $R_2$ 를 이용하여 등가 안테나에 유기되는 전류의 양  $I_2$ 를 구하기 위한 수식이다.

$$I_2 = \sqrt{\frac{P_2}{R_2}} = \left[ \frac{\eta \frac{(ka_1)^4}{32} |I_1|^2 2\pi \left[ 1 + j \frac{1}{(kr)^3} \right] \int_0^{\theta_0} \sin^3 \theta d\theta}{\eta \frac{\pi}{6} (ka_2)^4 + \frac{\alpha_2}{b_2} \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}}} \right]^{1/2} \quad (3)$$

그림 5는 단일 루프 등가 안테나의 반지름이 5 cm 일 때의 정면 거리에 따른 유도 전류량을 보여준다. 평행하게 배치된 단일 루프에 유기되는 전류량을 알 수 있으므로 RFID 리더 안테나와 수직 방향으로 배치된 루프의 각도와 거리에 따른 유도 전류의 양은 NEC(Numerical Electromagnetic Code)를 이용하여 전류량을 계산하였다. 그림 6은 평행 방향과 직교 방향 단일 루프의 배치를 보여준다. 이러한 배치에서 각

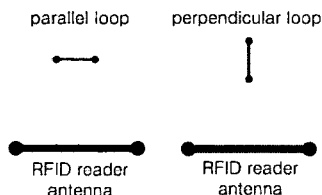


그림 6. 단일 루프의 배치  
Fig. 6. Position of single loop.

표 2. 평행 방향 루프 유도 전류(mA)

Table 2. Induced current on parallel loop.

	0°	30°	60°
20 cm	2.75	2.77	2.38
30 cm	1	0.86	0.66
40 cm	0.5	0.41	0.26

표 3. 직교 방향 루프 유도 전류(mA)

Table 3. Induced current on perpendicular loop.

	0°	30°	60°
20 cm	5e-4	0.39	1.47
30 cm	4e-4	0.21	0.52
40 cm	2e-4	0.1	0.2

도와 거리에 따른 전류량은 표 2, 표 3이며, 이 전류량은 앞의 정면 방향 시뮬레이션으로 표준화시킨 결과이다.

평행 방향의 루프는 정면 방향에서 가장 강한 전류량을 보이며, 직교 방향은 측면에서 가장 강한 전류량을 보이는 것을 볼 수 있으며, 이러한 영향은  $r$  방향과  $\theta$  방향의 자계가 각각 영향을 주는 것으로 볼 수 있다.

인체의 유도 전류량은 전자계에 대해 복합적인 영향이지만 단파 대역의 RFID 리더 안테나에 대해서는 자계의 세기로 증가화 하는 것이 효과적이므로 두 방향의 루프를 병렬로 연결하여 전류의 양을 증가시킬 수 있다. 또한, 두 루프 각각의 반지름을 조절함으로써 각도에 따른 전류량을 조절할 수 있다.

#### IV. 인체 등가 모형 제작 및 측정

인체 등가 모형은 1 cm 반지름을 갖는 동선을 병렬로 연결하여 제작하였으며, 평행 방향의 루프는 4.5 cm의 반지름을 가지며, 직교 방향의 루프는 5 cm의 반지름을 갖도록 제작하였다.

그림 7은 수직 교차 루프 등가 안테나를 보여준다. 지지대는 접지면과 연결되는 클램프 체결 루프까지 병렬로 연결된 두 개의 도선이 연결되지 않도록 분리한 두 개의 동관을 이용하여 제작하였다.

수직 교차 루프 등가 안테나의 측정은 인체의 측정과 동일한 위치 각도에서 측정하였으며, 동일한 조건에서 측정하였다. 표 4는 인체와 수직 교차 루프 등

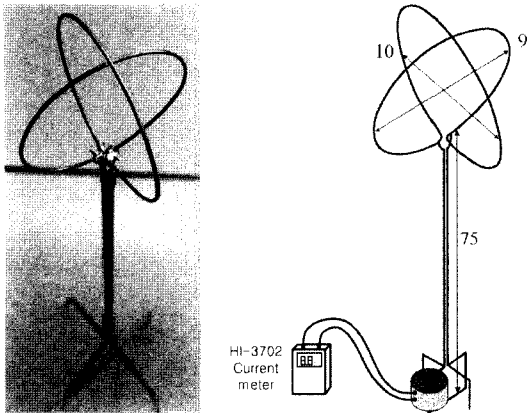


그림 7. 수직 교차 루프 등가 안테나  
Fig. 7. Perpendicular multi-loop equivalent antenna.

표 4. 인체와 인체 등가 모형의 유도 전류(mA)  
Table 4. Induced currents on human body and equivalent antenna model.

	0°		30°		60°	
	인체	루프	인체	루프	인체	루프
20 cm	2.75	3.71	3.68	4	3.93	4.2
30 cm	2	2.8	2.9	3	3.55	3.6
40 cm	1.45	1.8	2.25	2.3	2.75	2.4

가 모형의 유도 전류의 양을 보여준다.

평행 방향의 단일 루프는 측면으로 갈수록 전류량이 작은 값을 가지지만 수직교차형의 등가 안테나는 직교 방향의 루프 반지름을 증가시켜 인체의 유도 전류량과 흡사한 크기의 유도 전류량을 가지게 될 수 있음을 알 수 있다.

## V. 결 론

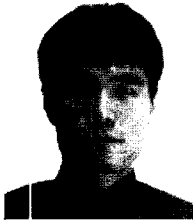
본 논문에서는 단파 대역 RFID 리더 안테나의 근

거리장 특징을 이용한 수직 교차 루프 등가 안테나를 이용하여 인체의 전류량과 유사한 등가 모형을 제작하고 검증하였다. 근거리장의 특징을 이용한 등가화를 통하여 등가 모형의 다양성과 기능성을 확장시킬 수 있음을 볼 수 있었다. 이러한 등가화 연구는 앞으로 주어질 여러 가지 전자파 환경에 대한 인체 등가화 방향을 제시하고 인체 등가 모형을 개발하는데 기반 자료로써 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참 고 문 헌

- [1] "Electromagnetic fields(300 Hz to 300G Hz)", World Health Organization, Geneva, Ch. 5, 1993.
- [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*, pp. 18-23, 2006.
- [3] 정보통신부 고시 제2000-91호, 전자파인체보호기준", 2000년.
- [4] C. H. Durney, H. Massouni, and M. F. Iskander, *Radiofrequency Radiation Dosimetry Handbook*, 4th Ed., The University of Utah, Salt Lake City, 1986.
- [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.
- [7] ETS-Lindgren, "Clamp-on induced current meter user manual", pp. 1-47.

이 종 건



/EMC, 안테나

2007년 2월: 명지대학교 통신공학과 (공학사)  
2009년 3월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)  
2009년 1월~현재: (주)엠티지 연구원  
[주 관심분야] 전자파 생체영향, EMI

천 창 울



공학과 조교수

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



학교 정보통신기술연구소 선임연구원

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 최적설계, 유도전류 해석, 전자파 인체 노출량 평가

이 병 제



공학과 부교수

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, 전자기파 해석, 레이더 및 위성통신, 초고주파 응용, RF 능동 및 수동소자

최 형 도



[주 관심분야] EMI/EMC, 전자파 인체 영향

1986년 2월: 고려대학교 재료공학과 (공학사)  
1989년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학석사)  
1996년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학박사)  
1997년 1월~현재: 한국전자통신연구원 전자파환경연구팀장

정 용 식



racuse대학교 (Post Doctor)

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