

2.4 GHz의 무선전력전송에 사용되는 4 × 8 배열 안테나에 대한 인체안전성평가

주영준^{1*} · 김준희¹ · 이유리¹ · 김윤명¹ · 임용석²

¹EMF Safety · ²전자부품연구원

Human Safety Assessment for a 4 × 8 Array Antenna Used for Wireless Power Transfer at 2.4 GHz

Young Jun Ju^{1*} · Jun Hee Kim¹ · Yu-ri Lee¹ · Yoon-Myoung Gimm¹ · Yong Seok Lim²

¹EMF Safety · ²Korea Electronics Technology Institute(KETI)

E-mail : youngjunju@emfsafety.co.kr / zoke966@emfsafety.co.kr / myuri12@emfsafety.co.kr /

gimm@emfsafety.co.kr / busytom@keti.re.kr

요 약

Beam-forming 방식을 적용한 배열 안테나의 무선전력전송(WPT)은 송신기와 수신기를 접촉하지 않고 서로 떨어져도 높은 효율의 무선전력전송이 가능하다. 하지만 이 방식은 송신기와 수신기의 떨어진 거리에 따른 전자파에 대한 인체안전기준을 만족해야 사용할 수 있다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 2.4 GHz용 4 × 8 배열 안테나를 모델링하고 배열 안테나의 단일 안테나에 각각 1W의 2.4 GHz 정현파를 인가하여 배열 안테나로부터 떨어진 거리에 따른 전기장 세기 및 머리에 대한 10 gram 평균 SAR (Specific Absorption Rate)를 구하였다. 그리고 이 값들과 2018 ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) 가이드라인 초안의 인체안전기준치와 비교하였다. 그 결과, 원거리장의 전기장 세기로부터 도출된 전력밀도가 33.257 W/m²로 직업인에 대한 전력밀도의 인체안전기준치는 만족하나 일반인에 대한 전력밀도의 인체안전기준치를 초과하였다. 10 gram 평균 SAR 또한 인체안전기준치를 초과하였다.

ABSTRACT

Wireless Power Transfer(WPT) of array antenna applied to beam-forming techniques enables highly efficient WPT when transmitters and receivers are not contacting and even when they are separated. However, this WPT method is possible to use only when human safety restriction by distance between the transmitters and the receivers is satisfied. In the paper, a 4 × 8 array antenna for 2.4 GHz is modeled by simulation, then electric field intensity and 10 gram average head SAR(Specific Absorption Rate) by distance away from the array antenna inputted 1 W of 2.4 GHz sinusoidal wave at each single antenna of the array antenna for 2.4 GHz were obtained. And they were compared with human safety restriction of draft of 2018 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) guidelines. As the result, power density of far field derived from the electric field intensity was 33.257 W/m², which satisfied with occupational human safety restriction but exceeded public's. In addition, the 10 gram average head SAR exceeded the human safety restriction.

키워드

2.4 GHz, Wireless Power Transfer, 4 × 8 array antenna, human safety restriction

I. 서 론

무선전력전송(Wireless Power Transfer, WPT)에

* corresponding author

의한 전력 전달 거리를 늘리기 위하여 마이크로파 대역에서 beam-forming 방식을 적용한 배열안테나를 이용한 무선전력전송 기술이 개발되고 있다. 이 방법을 이용하기 위해서는 전자파에 대한 인체안전기준치를 만족해야 한다. 따라서 이 논문에서는 시뮬레이션을 이용하여 beam-forming 기술을 적용한 무선전력전송에서 사용하는 2.4 GHz의 4 × 8 배열 안테나를 모델링하고 거리에 따른 전기장, 전력밀도 및 SAR(Specific Absorption Rate)를 구하였다. 그리고 구한 값들과 2018 ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) 가이드라인 초안의 인체안전기준치와 비교하여 beam-forming 기술을 적용한 2.4 GHz의 무선전력전송에 대한 인체안전성을 평가하였다.

II. 인체 보호 기준치

전자파에 대한 인체 보호 기준치는 국제표준화 단체인 IEC(International Electrotechnical Commission), IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers), 그리고 ICNIRP 등에 의해 정립되었으며 그 기준치는 대부분 동일하다. ICNIRP 가이드라인에 따르면 전자파에 대한 인체안전성 평가는 전기장 세기, 자기장 세기, 전력 밀도, 에너지 밀도, SA (Specific energy absorption), 그리고 SAR (Specific absorption rate, 전자파흡수율)가 있다. 또한 인체보호기준치는 일반인과 직업인에 따라, 그리고 주파수에 따라 다르게 적용된다 [1-3]. SAR에 대한 평가는 전자파가 발생하는 무선기기를 인체로부터 20 cm 이내에 사용할 때에 적용되며 SAR 평가 외의 다른 인체안전평가는 측정거리가 원거리장인 경우에 적용된다[4].

표 1과 2는 최근 개정하고 있는 2018 ICNIRP 가이드라인 초안의 인체안전기준치를 나타낸 것으로 본 논문에서는 이를 바탕으로 2.4 GHz에 대한 전자파의 인체 안전성을 평가하고자 한다.

표 1. 2018 ICNIRP 가이드라인 기본제한치 (SAR, SA)

주파수	노출 구분	전자파 비흡수율 [W/kg]			국부에너지밀도 (local SA) [J/kg]
		전신	머리/몸통	사지	
100 kHz~6 GHz	일반인	0.08	2	4	-
	직업인	0.4	10	20	-
400 MHz~6 GHz	일반인	-	-	-	$50+35.4(t-1)^{0.5}$
	직업인	-	-	-	$250+177(t-1)^{0.5}$

표 1에서 전신 노출의 경우 30분 노출 평균값이고, 국부노출의 경우 6분 이상일 때는 전자파흡수율의 국부노출(머리/몸통, 사지) 기준치를 적용하고 전자파의 시간간격이 6분 이하일 때 국부에너지밀도 (local SA)의 인체보호기준치를 적용한다. 이때 전자파흡수율과 국부 에너지밀도는 10 gram 질량에

대한 평균값이다.

표 2. 2018 ICNIRP 가이드라인의 전력밀도와 에너지밀도에 대한 인체보호기준치

주파수	노출 구분	전신노출	국부노출	
		입사되는 평면파의 전력밀도 [W/m ²]	입사되는 평면파의 전력밀도 [W/m ²]	입사되는 평면파의 에너지밀도 [kJ/m ²]
2 GHz ~ 300 GHz	일반인	10	-	-
	직업인	50	-	-
400 MHz ~ 6 GHz	일반인	-	$0.8f^{0.51}(0.5+0.354 \times 359^{0.5})$	$0.8f^{0.51}(0.5+0.354 \times (t-1)^{0.5})$
	직업인	-	$0.8f^{0.51}(2.5+1.77 \times 359^{0.5})$	$0.8f^{0.51}(2.5+1.77 \times (t-1)^{0.5})$

표 2에서 t는 전자파의 시간 간격이고 f는 GHz 단위의 주파수이다. 전신노출에 대한 입사되는 평면파의 전력밀도는 전자파의 시간 간격을 30 분으로 평균한 값을 적용한다. 또한 전자파의 시간 간격이 6 분 이상인 경우에는 국부노출에 대한 입사되는 평면파의 전력밀도 인체안전기준치를 적용하며 전자파의 시간 간격이 6분 이하의 경우에는 국부노출에 대한 입사되는 평면파의 에너지밀도 인체보호기준치를 적용한다.

III. 4 × 8 배열 안테나 시뮬레이션

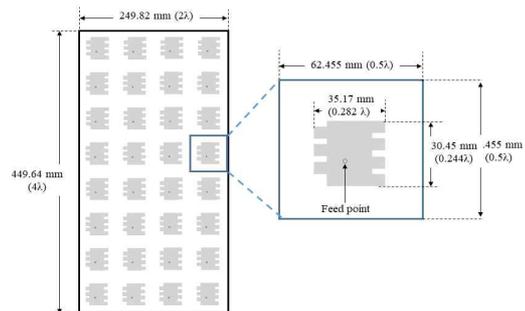


그림 1. 2.4 GHz용 4 × 8 배열 안테나의 형상과 치수

2.4 GHz의 4 × 8 배열 안테나에 대한 외형 및 치수를 그림 1에 나타내었다. 배열 안테나의 기판의 재질은 Taconic RF-35로 그 두께가 1.52 mm이다. 그리고 배열 안테나에 배치된 32개 단일 안테나의 feed point에 SMA 커넥터 PAF-S00-002가 각각 연결되며 SMA 커넥터에는 주파수가 2.4 GHz이고 RHCP (Right-hand Circular Polarized) 편파 특성을 가진 정현파 신호 1W가 인가 된다. 그림 2, 3과 같이 Ansys社의 HFSS 프로그램에 배열 안테나를 모델링하였다. 배열 안테나로부터 20 cm 이내에 떨어진 지점에서는 SAR에 대한 평가를 실시하기 위하여 모델링된 인체의 오른쪽 머리를 배열 안테나의 중앙으로부터 1 cm, 10 cm 떨어진 지점에 배치하여 머리에 대

한 전자파 흡수율을 해석하였다. 원거리장 공식 [5]으로 구한 2.4 GHz에 대한 4 × 8 배열 안테나의 원거리장은 3.23 m이며 이 기점보다 먼 지점에서는 국부에너지밀도, 입사되는 평면파의 전력밀도, 입사되는 평면파의 에너지 밀도에 대하여 인체 안전기준을 확인해야 한다. 본 논문에서는 6 분 이상의 전파 신호 간격을 가진 입사되는 평면파의 전력밀도를 시뮬레이션을 통해 얻은 원거리장에서 전기장 강도를 이용하여 도출하였다[6].

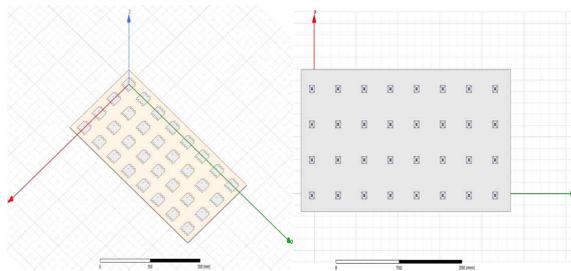


그림 2. (왼) 4 × 8 배열안테나의 우측면도, (오) 4 × 8 배열안테나의 정면도

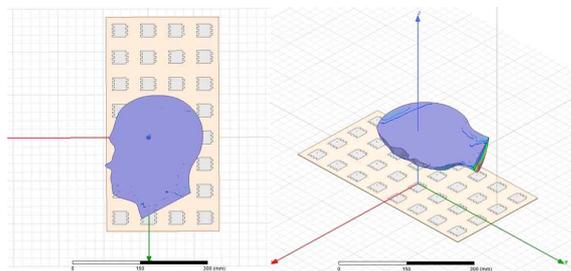


그림 3. (왼) 전자파 흡수율(머리) 시뮬레이션의 평면도, (우) 전자파 흡수율(머리) 시뮬레이션의 우측면도

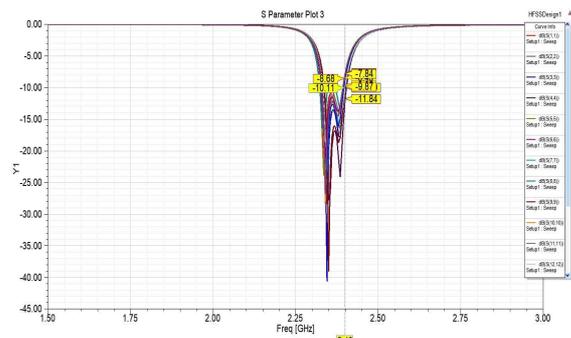


그림 4. 4 × 8 배열 안테나에 있는 32개의 단일 안테나의 반사계수(S_{11})

그림 4는 배열 안테나의 배치된 단일 안테나의 반사계수(S_{11})로 2.4 GHz에서 약 -7.84 ~ -11.84 dB를 갖는 것을 확인할 수 있다. 이 값은 배열 안테나의 단일 안테나들이 안테나의 기능을 하고 있음을 의미한다.

그림 5, 6은 HFSS 시뮬레이션으로 도출된 이격

거리에 따른 머리에 대한 10 gram 평균 전자파 흡수율을 나타낸 것이다.

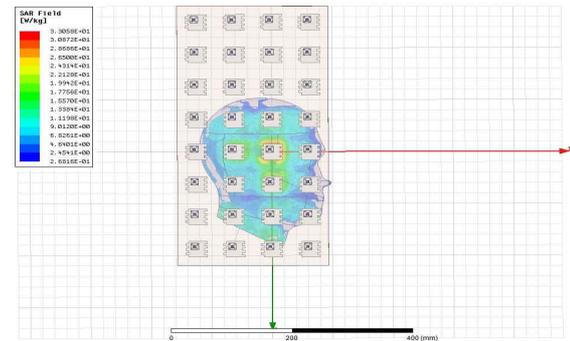


그림 5. 안테나와 인체 머리의 이격거리가 1 cm 인 경우의 10 gram 평균 전자파흡수율(머리)

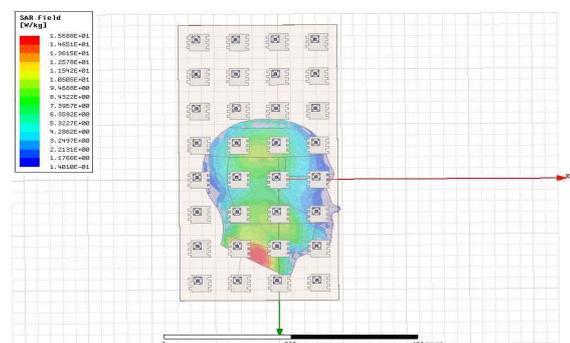


그림 6. 안테나와 인체 머리의 이격 거리가 10 cm인 경우의 10 gram 평균 전자파흡수율(머리)

그림 5에서 배열 안테나와 머리간의 이격 거리가 1 cm로 전자파흡수율의 최댓값은 약 33.058 W/kg이다. 그리고 그림 6에서 배열 안테나와 머리간의 이격 거리가 10 cm일 때 전자파흡수율의 최댓값이 약 15.688 W/kg이다.

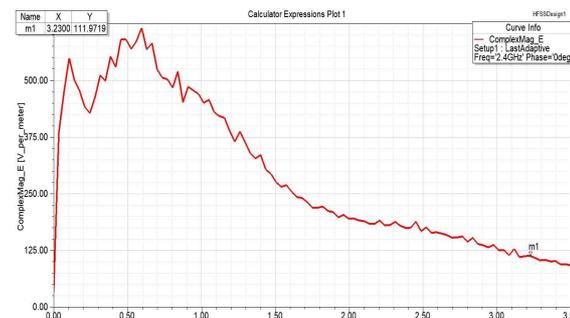


그림 7. 배열 안테나 중심에서 거리에 따른 전기장 세기

시뮬레이션으로 얻은 배열 안테나에 대한 전기장 강도는 그림 7에 나타내었으며 원거리장인 3.23 m에서의 전기장 세기는 약 111.9719 V/m이다. 이를 이용하여 원거리장의 전력밀도를 계산한 값과 이격 거리에 따른 머리의 전자파 흡수율

을 표 3에 정리하였다.

표 3. 시뮬레이션으로 도출된 머리에 대한 전자파 흡수율과 원거리 지점의 전력밀도

주파수 [GHz]	머리에 대한 전자파 비흡수율(Local SAR) [W/kg]		입사되는 평면파의 전력밀도 [W/m ²]
	이격거리 1 [cm]	이격거리 10 [cm]	이격거리 3.23 [m]
2.4	33.058	15.668	33.257

IV. 결 론

표 3에 보이는 바와 같이 시뮬레이션으로 도출된 머리에 대한 전자파 흡수율은 2018 ICNIRP 가이드라인의 초안에 명시된 일반인에 대한 인체안전기준치인 2 W/kg과 직업인에 대한 인체안전기준치인 10 W/kg보다 높아 인체보호기준치를 초과한다. 그러나 도출된 입사되는 평면파의 전력밀도는 표 2를 통해 얻을 수 있는 일반인에 대한 전력밀도의 인체안전기준치인 9.124 W/m²를 초과하지만 직업인에 대한 전력밀도의 인체안전기준치인 45.618 W/m²보다 낮아 기준치를 만족함을 확인할 수 있다. 전자파 흡수율의 인체보호기준치와 원거리장의 일반인에 대한 전력밀도 인체보호기준치를 만족하기 위해서는 각 포트에 입력되는 전력이 1 W보다 낮은 전력으로 무선전력전송이 이루어져야 한다.

Acknowledgment

본 논문은 2017년 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.10079984, 웨어러블 디바이스용 무구속 멀티모달 무선에너지공급기술 개발)

References

- [1] ICNIRP, "ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," Health physics 74(4):494-522, 1998.
- [2] ICNIRP, "ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz)," ICNIRP Guidelines, 2018.
- [3] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques," IEEE Standards 1528-2013, 2013.
- [4] IEC, "Human Exposure to Radio Frequency Fields from Handheld and Body-Mounted Wireless

Communication Devices – Human models, Instrumentation, and Procedures – Part 2: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for wireless communication devices used in close proximity to the human body (frequency range of 30 MHz to 6 GHz)," IEC6220902, 2008.

- [5] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th Edition, NY : John Wiley & Sons, Inc., p.661, 2011.
- [6] SAMUEL Y. LIAO, "Measurements and Computations Electric Field Intensity and Power Density," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. IM-26, No. 1, March 1977.