

제 출 문

300MHz 이하대역의 전자파 인체노출량 평가기준 연구

본 보고서를 「300MHZ 이하대역의 전자파 인체노출량 평가
기술 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2013. 12. 31.

2013. 12.

요 약 문

최근 일상생활에서 사용하는 가전제품, 휴대전화 및 기지국의 전자파 노출 환경이 다양해지고 사용 빈도 및 시간도 늘어남에 따라 일반 국민들의 불안감의 날로 증가하고 있는 추세이다. 따라서 국립전파연구원에서는 인체 근접하여 장시간 사용하는 기기와 다양한 노출 환경을 가지는 기기에 대하여 전자파 인체영향을 최소화하기 위하여 많은 노력들을 기울이고 있다. 그리고 ICNIRP(국제비전리복사방호위원회)와 IEEE(미국전기전자학회) 등 국제회의에서는 전자파인체보호기준 및 전자파 인체노출량 평가방법 표준을 통일하기 위하여 상호 협력을 하고 있으며, 세계보건기구(WHO) 등에서는 휴대전화 전자파의 인체영향을 규명하기 위한 장기적인 국제공동 역학 연구 프로젝트(Mobi-kids 연구)를 추진하고 있다.

본 연구에서는 LTE 무선국들이 늘어남에 따라 다양한 노출 환경을 고려한 세부 측정방법이 필요하게 되어 관련 산업체 및 통신사의 의견을 수렴하여 기존의 전자파강도 측정방법을 좀 더 명확하게 개선한 고시 개정(안)을 마련하였으며, 현재 고시 개정 작업중에 있다. 그리고 미래창조과학부는 휴대전화 및 기지국의 전자파에 대하여 일반 국민이 좀 더 안심하고 사용 및 접근할 수 있도록 2013년 8월 1일에 「전자파 등급기준, 표시대상 및 표시방법 고시(미래창조과학부고시 제2013-29호)」를 제정·고시하였다.

그리고 현재 국내·외적으로 온라인 전기자동차 등 무선전력전송기기의 전자파 인체노출량 평가방법에 대한 표준화 작업이 논의되고 이슈가 되고 있는 상황으로 국립전파연구원에서도 EMF인체노출표준위원회를 통해 무선전력전송기기의 전자파 인체 전신/국부노출 평가방법(안)을 마련하였다.

그리고 전자파로부터 국민 건강을 보호하고 막연한 불안감을 해소하기 위해 일반 가정에서 많이 사용하고 있는 가전제품 52개 품목의 전자파 노출량을 조사·분석하여 전자파를 줄이는 “가전제품 사용 가이드라인”을 마련하였다. 그리고 SAR 지정시험기관 및 제조업체의 SAR 측정상의 애로사항을 개선하기 위하여 상당히 큰 150 MHz 대역의 SAR 측정 유효성 평가용 평면형 모의인체의 크기를 줄이는 연구를 수행하였다.

또한, “EMF인체노출표준위원회”의 업무 일환으로 세계 전자기장 인체영향 연구회의(GLORE), 생체전자기학회(BEMS) 및 IEC TC106, ITU-T

SG5, IEEE ICES 등 국제회의에 참가하여 우리나라의 전자파 인체노출량 평가 방법 연구결과를 발표하고 관련 표준화 동향을 조사·분석하였다.

향후에도 일반 국민들이 안전하게 전자파를 사용할 수 있는 환경 조성을 위하여 국제 표준 및 기준 변화에 적극적으로 대응하고 다양한 노출 환경들을 고려한 합리적인 전자파 인체노출량 평가방법을 마련할 할 것이며, 국민들의 전자파에 대한 인식제고를 위하여 홍보 활동을 꾸준히 추진해 나갈 것이다.

SUMMARY

National concerns are on the rise about human exposure of electromagnetic field due to the increasing usage of electronic devices in our daily life. RRA (Radio Research Agency) makes effort to reduce the influence of electromagnetic fields from various devices to human body, especially, electric equipment used for a long-time within the vicinity of a person. ICNIRP (International Committee Non-ionized Radiation Protection) and IEEE (Institute Electric & Electronic Engineers) and other international conferences have co-worked to set up the limitation of electromagnetic field protection and standardization of the evaluation method of human body exposure. WHO (World Health Organization) has conducted epidemiological studies to find some evidences about the effects of mobile to human body.

In this study report, we included the updated notification revision for a specific measurement method of LTE (Long Term Evolution) base station, which was required by related business agencies and telecommunication service providers. Thus, it was published as a revision of the notification of standards for electromagnetic field measurement, so it should be applied to mobile phones and its base station, which includes EMF rating, labeling methods, facilities and equipment subject to EMF labeling.

In addition, the EMF evaluation method of wireless power transmission devices such as online electrical vehicle was discussed in this report. RRA also studied the evaluation method of whole-/ partial-body exposure to EMF in collaboration with the committee of EMF Human Body Exposure.

Moreover, RRA published a proposed 'guideline on how to use electric devices' properly to reduce the exposure amount to human body. To relieve people's concern, we investigated 52 items of electric devices which are commonly used at home and published the safety guideline

how to use them appropriately.

We have conducted a study by applying the numerical analysis as well as experimental method to find out the appropriate size of flat phantom to fulfill the effectiveness of validation for SAR measurement below the frequency range of 300 MHz. The newly designed size of the flat phantom can be used to improve the problems of the designated testing institutes and manufacturers when they conduct SAR measurement.

Finally, we have surveyed and published the international activities and some main issues which have been discussed in the international organizations such as, GLORE, BEMS, IEC TC106, ITU-T SG5, IEEE ICES, as part of the activities of the committee on EMF Human Body Exposure.

We will actively participate in the global standardization activities to handle the main issue of the measurement specification and propose an enhanced evaluation method as well, such as, SAR measurement and optic sensing method in the future international activities. We also have planned to implement many kinds of activities to relieve public concerns on electromagnetic field and to prepare a risk communication system to publicize the EMF measurement result of our house, public transportations areas, as well as some common areas.

목 차

제1장 요약	1
제2장 무선전력전송기기의 인체노출량 평가방법	2
제1절 서론	2
제2절 무선전력전송 자동차 (온라인 전기자동차, OLEV)	3
제3절 온라인 전기자동차의 전자파인체노출량	4
제4절 휴대전화 무선충전기 전자파 인체노출량 평가	10
제5절 결론	14
제3장 150 MHz SAR 측정방법 개선 연구	16
제1절 서론	16
제2절 평면형 모의인체에 대한 최적의 크기 개선 연구	17
제3절 결론	26
제4장 SAR 평가를 위한 손 영향 연구 및 표준화 동향	27
제1절 개요	27
제2절 그 동안의 연구 현황	27
제3절 결론	35
제5장 향후 연구 방향	36
참고문헌	39

표 목 차

표 2-1 수치해석된 휴대전화 무선충전기 전자파 세기 결과	13
표 2-2 휴대전화 무선충전기 상용제품 전자파세기 측정 결과	13
표 2-3 휴대전화 무선충전기 인체노출량 계산 결과	14
표 3-1 주파수 대역별 평면형 모의인체, 기준 다이폴 안테나의 크기와 인체조직 유사액체특성 데이터 및 안테나의 반사손실 측정 결과	19
표 3-2 평면형 모의인체의 크기에 따른 150 MHz 대역에서의 SAR 수치해석 결과	19
표 3-3 크기별 평면형 모의인체의 안테나 반사손실 및 SAR 수치해석 계산 결과	19
표 3-4 150 MHz 대역의 수치해석 결과와 유효성 측정에 대한 1g 및 10g SAR값	20
표 3-5 평면형 모의인체의 크기 변화에 따른 안테나 반사손실 및 SAR 수치 해석 결과	21
표 3-6 150 MHz 대역의 수치해석 결과와 유효성 측정에 대한 1g 및 10 g SAR값	24

그 립 목 차

그림 2-1 OLEV의 무선전력전송 기술 적용 개념도	3
그림 2-2 온라인 전기자동차의 전자파 인체노출 조건	4
그림 2-3 IEC 62110의 평가방법	5
그림 2-4 OLEV(좌)와 인체(우) 수치해석 모델	6
그림 2-5 OLEV의 전자파 노출량	6
그림 2-6 OLEV 측면에서의 자기장 강도 분포	7
그림 2-7 OLEV 측면 1m 이격거리에서 높이에 따른 자기장 강도	8
그림 2-8 OLEV 내부 각 좌석에서의 자기장강도	8
그림 2-9 OLEV 내부 x, y축의 자기장 분포 패턴	9
그림 2-10 OLEV 내부에서 5-point 방법의 평가결과	9
그림 2-11 휴대전화 무선충전기 원리 및 내부 구조	11
그림 2-12 자기유도 방식의 휴대전화 무선충전기 수치해석 모습	11
그림 2-13 S-parameter와 임피던스 매칭을 통한 무선전력전송 확인	12
그림 2-14 상용제품 측정 모습	12
그림 2-15 인체 모델 및 유도전류 및 국부 SAR 계산 모습	14
그림 3-1 300 MHz 대역 이상의 평면형 모의인체	18
그림 3-2 150 MHz 대역의 평면형 모의인체 모습	18
그림 3-3 150 MHz 대역의 다이폴 안테나의 모습	18
그림 3-4 평면형 모의인체의 크기에 의한 SAR 영향 분석을 위한 설정조건	20
그림 3-5 최적의 150 MHz 대역 평면형 모의인체(size 4) 모습	23
그림 3-6 SAR 측정 시스템 성능 검사를 위한 측정 장치 구성도	24
그림 3-7 150 MHz 대역과 크기별 평면형 모의인체의 SAR 유효성 수치해석 결과	25
그림 3-8 150 MHz 대역과 크기별 평면형 모의인체의 SAR 유효성 평가 결과	25

그림 4-1 측정에 사용된 손 팬텀	28
그림 4-2 전자파흡수율 측정조건	28
그림 4-3 손 팬텀 사용 유무에 따른 SAR값 편차	29
그림 4-4 제안된 3개의 손 팬텀	30
그림 4-5 손 팬텀의 거치대	30
그림 4-6 3개의 손 팬텀 거치대의 SAR 측정 조건	31
그림 4-7 3개의 손 팬텀 거치대의 SAR 측정결과	31
그림 4-8 제안된 3개의 손 팬텀	32
그림 4-9 삼성 제안 손 팬텀, CTIA 손 팬텀, 실제 손과의 SAR 비교 측정 모습	32
그림 4-10 삼성 제안 손 팬텀, CTIA 손 팬텀, 실제 손과의 SAR 비교 측정결과	32
그림 4-11 삼성 제안 손 팬텀, CTIA 손 팬텀, 실제 손과의 안테나의 반사손실 비교 측정 모습	33
그림 4-12 휴대전화 안테나의 반사손실 비교값	33
그림 4-13 손 팬텀과 10명의 실제 손과의 SAR 비교 측정 모습	34
그림 4-14 손 팬텀과 10명의 실제 손과의 SAR 비교 측정 결과	34

제1장 요약

최근 들어 다양한 노출 환경을 가지는 LTE 무선국들이 급증하고 전기장판 등 장시간 밀착하여 사용하는 생활 가전제품들이 늘어나고 있으며, 온라인 전기자동차, 휴대전화 무선충전기와 노트북과 TV 등에 이르기까지 다양한 분야에 무선전력전송기술이 응용되어 개발됨에 따라 전자파 인체영향에 대한 일반 국민들의 전자파에 대한 관심은 증가하고 있다.

본 연구에서는 새로이 출현하는 전자파 발생기기에 대한 평가방법에 대한 연구와 기존의 시험방법의 신뢰성을 개선하기 위한 연구를 수행하였으며, 수치해석과 측정을 통해 무선전력전송기술을 적용한 온라인 전기자동차와 휴대전화 무선충전기의 전자파 인체노출량 평가방법(안)을 마련하였다. 또한, 150 MHz 주파수 대역에 대한 전자파흡수율 측정용 다이폴 안테나와 평면형 모의인체 개발 연구를 수행하여 국제적으로 표준화되어 있지 않은 300 MHz 이하의 주파수 대역에 대한 전자파흡수율 평가방법의 근거를 마련하였다. 이러한 전자파의 인체영향 및 인체노출량 평가방법과 관련된 연구결과는 IEC TC106, ITU-T SG5, IEEE ICES 등 국제 표준화 활동을 통해 우리나라의 의견으로 반영하였다.

무선통신기술의 발달과 더불어 새로운 주파수의 이용과 신기술이 적용된 기기의 출현에 따라 전자파의 인체영향에 대한 관심은 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 따라서 전자파에 대한 정책과 제도, 평가 기술 및 전자파 사전 예방 대책에 대한 지속적인 연구를 통해 일반 국민이 보다 안전하게 전파를 이용할 수 있는 환경을 조성해 나아갈 것이다.

제2장 무선전력전송기기의 인체노출량 평가방법

제1절 서론

무선전력전송기술의 발달로 휴대전화 충전기에 적용되어 시장에 출시되었으며 노트북과 TV를 비롯하여 자동차에 이르기까지 다양한 분야에 응용되어 개발되어지고 있다.

이에 따라 세계 각 국가들은 통신목적이 아닌 전력전송용으로 이용하는 주파수의 이용과 EMC, EMF 등의 문제에 대한 제도적 도입방안에 대하여 검토하고 있으며, 특히 무선전력전송기기로부터 방사되는 전자파에 대한 인체노출량에 대해서도 이슈가 되고 있다. IEC TC106은 2012년 9월 무선전력전송용 자동차에 대한 전자파 인체노출량 평가방법에 대한 연구과제가 제안되어 2015년 완료 목표로 추진될 예정이다. 미국의 FCC도 적절한 시험방법을 제시하지 못하고, 다만 무선충전기들에 대해서는 기기로부터 임의의 거리에서 떨어진 지점에서의 전자파강도를 측정하여 제출하면 FCC가 수용 여부를 검토하여 결정하도록 지침을 주고 있다.

국내 전자파인체보호기준(미래창조과학부 고시)은 모든 주파수대역에 대하여 전자파로부터 인체를 보호하기 위한 기준값을 정하고 있다. 따라서 무선전력전송시스템의 전자파로부터 인체보호를 위해 현행 기준을 적용할 수 있다. 또한 전자파인체보호기준을 적용하기 위해서는 미래창조과학부 고시인 전자파강도 측정대상 기자재에 적용대상기자재로 추가하여야 하며, 무선전력전송시스템에 대한 전자파 노출량 측정기준이 마련되어야 한다. 그러나 현재 무선전력전송시스템에 대한 전자파 인체노출량을 평가하기 위한 국내의 측정기준이 없어 이에 대한 표준 측정기준 마련이 필요하다.

무선전력전송시스템은 크게 온라인전기자동차(OLEV)와 같이 인체전신이 노출되는 환경(Whole Body Exposure)과 휴대전화, 노트북, TV 등의 무선충전기와 같이 인체의 일부분에 한정되어 노출되는 환경(Partial Body Exposure)으로 나눌 수 있다.

무선전력전송시스템은 현행 규정상 인체보호기준에 적용받는 기기가 아니지만, 고출력의 전력전송에 따른 전자파의 인체 위해에 대한 우려가 높으며, 인체 가까이에서 사용되므로 인체보호기준을 측정하여 그 값이 높을 경

우에는 관리하여야 한다. 이와 관련하여 국립전파연구원은 EMF인체노출표준위원회를 통해 무선전력전송기기의 전자파 인체 전신노출 평가방법을 마련하기 위한 연구를 수행하였으며, 이에 대한 내용을 소개하고자 한다.

제2절 무선전력전송 자동차(온라인 전기자동차, OLEV)

KAIST는 2010년 무선전력전송기술을 이용한 온라인 전기자동차(OLEV : On-Line Electric Vehicle)를 개발하고 서울대공원에서 prototype 제품을 시범 운영중에 있으며, 지속적으로 성능 검증 및 적용기술을 개선을 통해 상용화를 앞두고 있다.

국내 개발 온라인전기자동차는 75 kW의 정격출력에 전력전송용 주파수로 20 kHz를 이용하고 있다. 그림 2-1은 국내에서 개발된 OLEV의 무선전력전송기술 적용 개념도이다. 인버터를 통해 20 kHz 주파수로 변환된 전력은 도로 밑에 1차 코일로 배선이 되어 있으며 전기자동차의 하부 픽업코일에서 전력을 무선으로 전송받아 배터리에 충전하거나 모터 구동에 이용된다. 현재 시범 운영되고 있는 온라인 전기자동차의 경우 1차 코일은 전체 차량의 운행구간 중 15 %를 설치하면 운영이 가능하다.

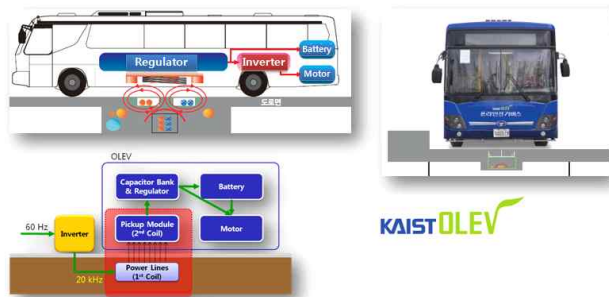


그림 2-1 OLEV의 무선전력전송 기술 적용 개념도(출처 : KAIST)

제3절 온라인 전기자동차의 전자파인체노출량

전자파를 발생하는 기기에 대하여 인체노출량을 평가하는 방법은 전자파 인체노출 조건에 따라 다양한 평가방법을 적용할 수 있다. 온라인 전기자동차와 같이 대형 시스템의 경우 인체 전신에 전자파가 노출되는 전형적인 경우이다. 온라인 전기자동차의 경우 전신노출 환경은 2가지로 고려될 수 있다. 온라인 전기자동차에 무선전력전송이 작동하는 경우는 정류소에 정차하고 있는 경우와 운행중이며, 그림 2-2와 같이 정류소에 정차시 버스 승차를 위해 자동차 밖에서 기다리는 사람에 대한 전자파 노출 환경과 운행 또는 정차중인 자동차 안의 승객과 운전자에 전자파가 노출되는 경우로 구분될 수 있으며 이에 대한 각각의 평가방법은 다르다.

첫 번째 외부에서의 노출환경의 경우 통상적인 이격거리는 1 m로 고려되어질 수 있으며 이때 온라인 전기자동차의 측면에서 방사되는 전자파에 노출이 되어진다.

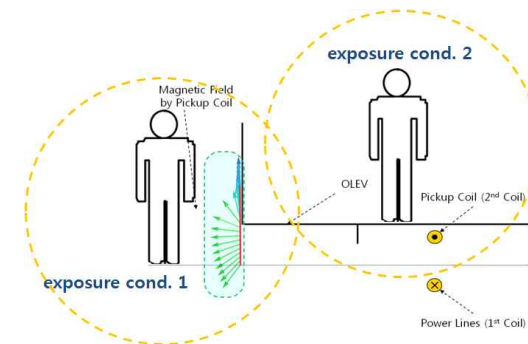


그림 2-2 온라인 전기자동차의 전자파 인체노출 조건

그림 2-2의 노출조건 1은 정류소 정차 중일 때 인체에 노출되는 조건이며 이 경우 신호 발생원은 인체를 기준으로 옆 방향에 위치한다. 반면 노출조건 2는 정차중 또는 운행중일 때의 승객과 운전자에 대한 노출 조건으로 전자파 발생원이 인체의 발 아래 방향에 위치해 있는 경우이다.

온라인 전기자동차와 같이 신호원이 사람의 측면 또는 아래에 위치하고 비균일 전자기장에 노출되는 환경과 가장 유사한 시스템은 AC power

system으로 생각할 수 있다. AC power system의 경우 신호원이 사람의 측면, 아래 및 위에 위치하고 비균일 전자기장에 노출되는 환경조건을 갖고 있다. IEC 62110은 이러한 AC power system의 전자파 전신노출 평가방법을 제시하고 있다. 특히 신호원이 사람의 측면에 있는 경우는 3-point 측정방법을 적용하고 신호원이 사람의 발 아래에 위치하는 경우는 5-point 측정방법을 제시하고 있다. 본 연구에서는 온라인 전기자동차의 전자파 전신노출 평가방법으로 이와 유사한 시스템인 AC power system의 평가방법을 적용하여 타당성을 검증하고자 한다.

3-point 측정방법은 전자파 발생원이 인체의 옆에 있을 경우에 적용가능하며 그림 2-3(좌)와 같으며, 5-point 측정방법은 전자파 발생원이 인체의 아래 방향에 있을 경우에 적용 가능한 평가방법으로 사람이 자동차 내부에 있을 경우에 적용될 수 있으며 그림 2-3(우)와 같다.

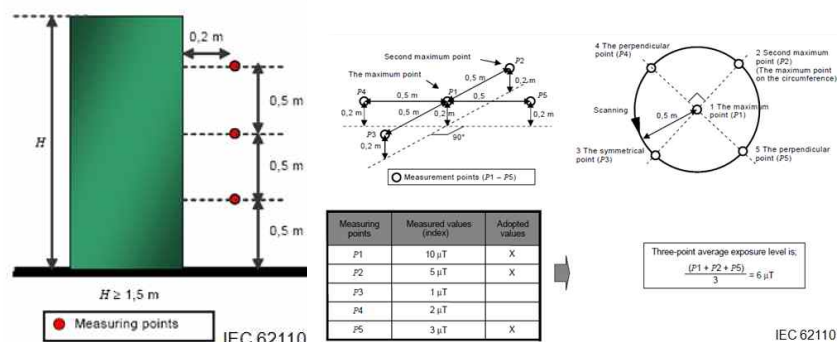


그림 2-3 IEC 62110의 평가방법(좌: 3-point, 우: 5-point 평가방법)

측정에 앞서 IEC 62110에서 제안하고 있는 수치해석 평가방법을 이용하여 온라인 전기자동차의 노출조건 1에 대하여 주변의 자기장 환경을 분석하여 3-point 평가방법이 인체내부의 자기장 평균값을 대표하는지 타당성을 검증해보았다.

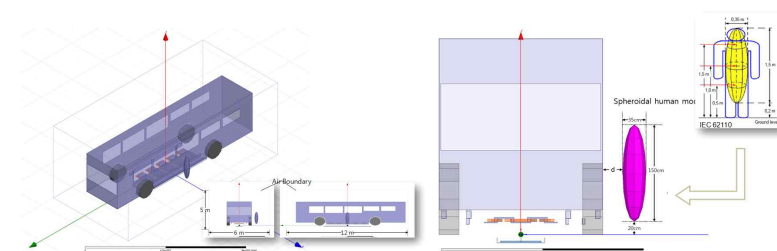


그림 2-4 OLEV(좌)와 인체(우) 수치해석 모델(KAIST 안승영 교수)

온라인 전기자동차의 수치해석 분석을 위해 이용한 인체 모델은 IEC 62110의 spheroidal human model을 이용하였으며, 20 kHz의 인체 전기상수(상대유전율 : 15521, 손실탄젠트 : 2.939, 전기전도도 : 0.32288 S/m, 질량밀도 : 1090.4)를 사용하였다.

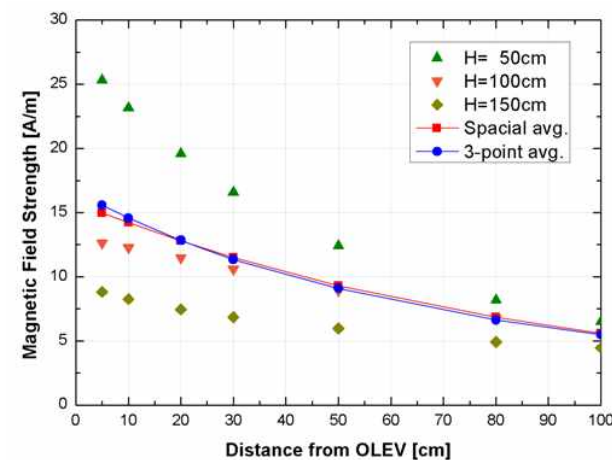


그림 2-5 OLEV의 전자파 노출량(전신평균, 3-point 평균)

그림 2-5는 온라인전기자동차의 전자파 노출 조건 1의 경우 수치해석을 이용하여 계산한 전신평균값(whole body average)과 IEC 62110의 3-point 공간평균값(3-point average)에 대한 비교를 보여주고 있다. 계산결과 인체

전신 평균과 3-point 공간평균 값에 대한 오차가 이격거리 5 cm에서 최대 4 %, 1 m 이격거리에서 2 %의 오차로 대체로 잘 일치함을 알 수 있다.

온라인 전기자동차의 실제 자기장 강도 측정을 위해 Narda의 EHP-200을 사용하였다. 노출조건 1인 자동차의 측면에서 자기장 강도가 최대가 되는 지점을 확인하기 위하여 이격거리 1 m, 높이 0.2 m에서 측면을 따라 측정을 하였다. 측정결과는 그림 2-6과 같이 pickup coil이 위치한 부근에서 자기장 강도가 거의 일정한 값으로 형성되는 것을 알 수 있었으며, pickup coil을 벗어난 곳에서는 자기장강도가 급격히 감소하는 패턴을 볼 수 있었다. 이는 온라인전기자동차의 전력전송이 pickup coil을 중심으로 이루어지고 있음을 알 수 있으며 그 외부분에서는 전력전송이 일어나지 않음을 알 수 있다.

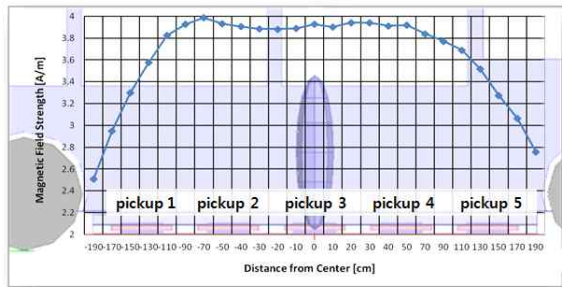


그림 2-6 OLEV 측면에서의 측정된 자기장 강도 분포

수치해석에서 확인한 3-point 공간평균 값을 구하기 위하여 이격거리 1 m에서 높이에 따른 자기장강도를 측정하였다. 노출조건 1의 경우 온라인 전기자동차 측면으로 사람이 근접할 수 있는 통상적인 최소 이격거리는 약 1 m로 하였다.

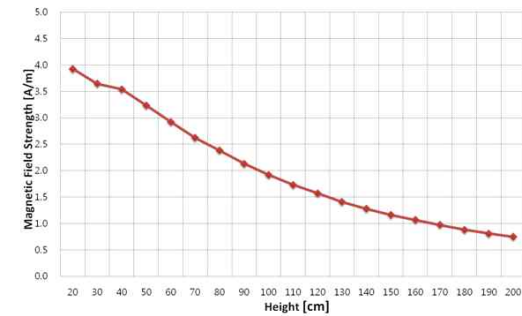


그림 2-7 OLEV 측면 1 m 이격거리에서 높이에 따른 자기장 강도

높이에 따른 자기장강도 분포를 측정하고 높이 0.5 m, 1.0 m 1.5 m의 자기장 강도를 공간평균한 결과 전자파 인체 전신노출량이 2.1 A/m로 평가되어 졌으며, 인체보호기준에 비해 약 40 %의 값에 해당됨을 알 수 있다.

OLEV 내부에서의 노출조건 2에 대해서는 우선 각 위치별 자기장강도를 측정하여보았다. 측정결과는 그림 2-8에서 보여주는 바와 같다.

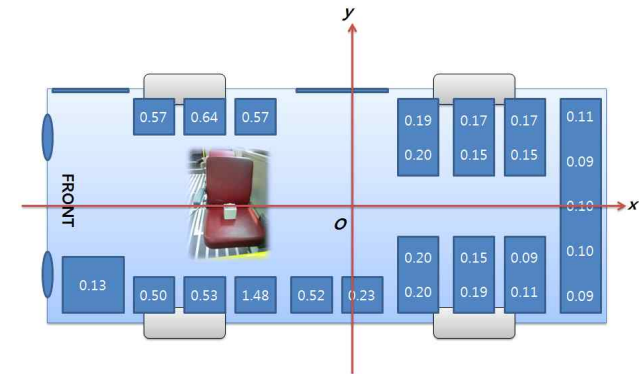
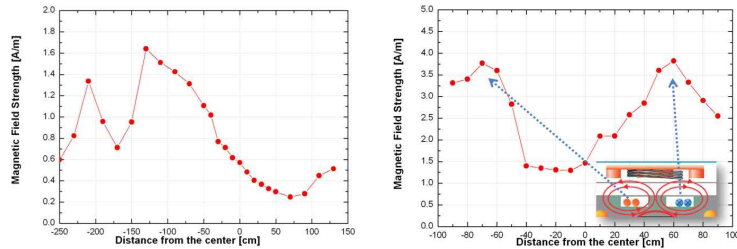


그림 2-8 OLEV 내부 각 좌석에서의 자기장강도(단위 : A/m)

자동차 내부에서의 자기장 패턴을 확인하기 위해 그림 2-8와 같이 내부의 중심점(O)을 정하고 버스의 가로방향을 x축으로 세로방향을 y축으로 정하여 위치별 자기장 분포를 분석하였다. 자동차 내부에서는 그림 2-9의 (b)에

서 보여주는 바와 같이 양쪽 끝부분이 가운데부분보다 높은 자기장을 보여주고 있는데 이는 무선전력전송시스템의 1차 코일의 물리적 구조에 의한 영향으로 볼 수 있다.



(a) x축의 자기장분포

(b) y축의 자기장분포

그림 2-9 OLEV 내부 x, y축의 자기장 분포 패턴

노출조건 2에 대해 수치해석과 측정을 통해 5-point 평가방법의 적용 타당성을 확인하여 보았다. 5-point 평가방법은 그림 2-3(우)에서 소개한바와 같이 5개 지점의 측정값 중 가장 큰 3개의 값을 평균하는 것이다.

< Simulated Data(S.D.: 72 cm) >

Measuring points	Measured values	Adopted values
P1	1.07	
P2	1.93	
P3	3.96	X
P4	2.12	X
P5	3.99	X

(a) 수치해석 결과

< Measured Data(S.D.: 60 cm) >

Measuring points	Measured values[A/m]	Adopted values
P1	3.82	X
P2	3.41	X
P3	1.96	X
P4	0.90	
P5	1.08	

(b) 측정결과

그림 2-10 OLEV 내부에서 5-point 방법의 평가결과

수치해석을 이용한 5-point 평가 결과 그림 2-10의 (a)와 같이 3.36 A/m를 얻었으며, 동일한 조건으로 수행한 측정에서는 3.06 A/m를 얻었다. 그러나, 신호원이 인체의 아래쪽에 위치해 있을 경우 노출조건 1과 같이

3-point 평가방법을 적용하였을 경우에는 수치해석과 측정결과가 각각 0.53 A/m, 0.57 A/m로 나타났다. 온라인 전기자동차 내부에서는 위에서 분석된 결과와 같이 내부의 차폐재 사용과 구조물(의장, 높낮이의 차이 등) 및 위치에 따라 다양한 노출조건이 존재할 수 있다. 이러한 복잡한 노출조건을 보이는 온라인 전기자동차의 내부에서 전자파 인체노출량 평가는 5-point 평가방법이 3-point 평가방법보다 최악조건인 노출량 평가방법으로 적합한 것으로 판단된다. 그러나 자동차와 같이 내부공간이 협소한 경우 5-point의 평가방법이 유용하지는 않아 이에 대한 추가 연구가 필요하다.

제4절 무선충전기 전자파 인체노출량 평가

4-1 자기유도 방식 휴대전화 무선충전기

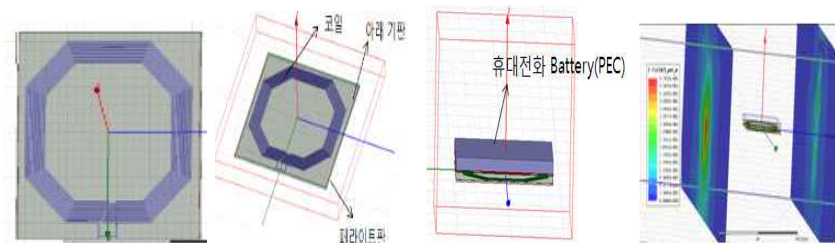
자기 유도(Electromagnetic induction) 방법은 수 mm 이하 근거리에서 송신단의 코일과 수신단의 코일이 유도 커플링(Inductive coupling)되어 전자기 유도 현상에 의해 에너지를 전달하는 방법이다. 에너지를 전달 하고자 하는 장치와 에너지를 공급받는 장치가 아주 근접해야 동작하는 원리이기 때문에 에너지 효율 면에서는 좋은 장점을 가지고 있으나, 코일사이의 거리에 매우 민감하여 두 코일 사이의 거리가 약간 떨어지거나 틀어져도 전력 전송 효율이 급속히 떨어지는 약점과 장거리 전력 전송에는 부적합한 단점이 있다. 그림 2-11은 자기 유도 방식 무선전력 전달 장치의 개념도와 시중에 판매되고 있는 자기유도 방식(100 kHz 대역)을 적용한 휴대전화 무선충전기의 내부 구조를 보여주고 있다. 자기유도 방식을 이용한 휴대전화 무선충전기 시스템은 크게 송신부(휴대전화커버), 수신부(무선충전 패드)로 구성되어 있으며, 각각 송신코일, 수신코일이 내장되어 있으며, 송신 코일에서 발생하는 자기장이 수신단의 코일에 유기 되면서 발생하는 전력을 휴대전화 배터리에 충전시키는 방식으로 자속의 시간 변화에 따라 전기에너지(기전력)이 발생하는 패러데이 법칙을 응용한 기술이다. 이에따라 2008년에는 자기유도 방식을 적용한 휴대전화 무선충전과 관련하여 WPC (Wireless Power Consortium)이 설립되었으며, 2010년 6월에는 휴대전화 무선 충전과 관련된 표준안(Qi)을 발표하였다.



그림 2-11 휴대전화 무선충전기 원리 및 내부 구조

4-2 자기유도방식의 휴대전화 무선충전기 수치해석 모델링

국내에서 시판되고 있는 휴대전화 무선충전기는 자기유도 방식만 현재 적용되어 시판되고 있지만, 자기유도 방식의 휴대전화 무선충전기가 인체보호 기준의 적합여부 판단을 위한 전자파 인체노출량 평가방법 마련되어 있지 않는 실정이다 이에 따라 본 연구에서는 휴대전화 무선충전기가 인체에 근접하여 사용될 경우를 고려하여 인체보호기준의 적합 여부 판단 및 향후 평가 방법 마련의 근거를 제시하고자 한다.

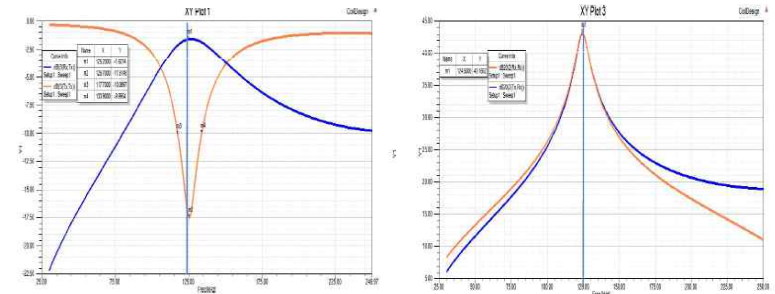


(a) 송신부 (b) 수신부 (c) 송·수신부 결합 (d) H-field 분포

그림 2-12 자기유도 방식의 휴대전화 무선충전기 수치해석 모습

그림 2-12는 현재 상용화 되고 있는 휴대전화 무선충전기를 컴퓨터 시뮬레이션(HFSS)에 수치해석 모델링을 한 모습을 보여주고 있으며, 수치해석 모델링은 현재 상용되고 있는 제품을 고려하여 125 kHz 공진주파수와 5 W 출력까지도록 하였다. 또한 시뮬레이션에서 구성된 휴대전화 무선충전기는 상용제품의 구성품과 동일한 조건인 송·수신 코일과 페라이트, 휴대전화

배터리등으로 구성하였다. 그림 2-13은 수치해석된 휴대전화 무선충전기가 125 kHz 주파수 대역에서 원활한 동작을 하는지 S-parameter와 임피던스 매칭을 확인한 모습을 보여주고 있다.



(a) S-parameter

(b) Z-parameter

그림 2-13 S-parameter와 임피던스 매칭을 통한 무선전력전송 확인

4-3 휴대전화 무선충전기 수치해석 및 측정 결과

현재 시중에 상용되고 있는 휴대전화 무선충전기와 수치 해석된 자기유도 방식의 휴대전화 무선충전기의 전자파 세기를 비교하였다. 측정 방법은 일상생활에서 사람이 전자파에 최대 근접하여 사용하는 거리를 고려하였으며, 최대값 지점 도출을 위하여 휴대전화와 무선충전기간의 전력전송이 이루어지는 조건에서 앞, 뒤, 좌, 우 4개면에 대하여 거리별 (5 cm, 10 cm 15 cm 20 cm) 수직 및 수평방향으로 측정을 실시하였다



(a) 측정 대상기기

(b) 수평 및 수직 측정

(c) 거리별 측정

그림 2-14 상용제품 측정 조건

그림 2-14는 상용된 휴대전화 무선충전기의 측정 조건을 보여주고 있으

며, 표 2-1과 2-2는 상용되고 있는 휴대전화 무선충전기의 전자파 세기를 측정된 결과와 수치해석된 휴대전화 무선충전기의 결과를 나타내고 있다.

측정 및 수치해석 비교 결과 거의 비슷한 자기장 세기를 보이고 있었으며, 휴대전화 무선충전기의 최대 자기장 강도는 인체보호 기준대비 (5 A/m)로 약 1/10수준으로 나타났다.

표 2-1 수치해석된 휴대전화 무선충전기 전자파 세기 결과

구분	A면	B면	C면	D면
5 cm	0.52	0.5	0.55	0.53
10 cm	0.12	0.1	0.1	0.1
15 cm	0.04	0.04	0.04	0.04
20 cm	0.02	0.02	0.02	0.02

표 2-2 휴대전화 무선충전기 상용제품 전자파세기 측정 결과

구분	A면	B면	C면	D면
5 cm	0.3	0.4	0.36	0.49
10 cm	0.2	0.08	0.04	0.06
15 cm	0.04	0.04	0.02	0.02
20 cm	0.01	0.009	0.009	0.01

<자기장 강도 단위 : A/m >

측정 및 수치해석된 결과를 토대로 휴대전화 무선충전기의 전자파 인체 노출량을 계산하였다. 계산에 인체 모델의 조직은 피, 심장, 근육등 총 25개 조직으로 이루어진 성인 남성 모델을 이용하였으며, 인체 모델의 유전율과 도전율은 IEEE C95.3-2002의 Gabriel의 인체 전기 정수를 적용하였다.

그림 2-15는 휴대전화 무선충전기의 전자파 인체 노출량 계산하기 위한 인체 모델과 휴대전화 무선충전기로부터 사람이 최대 근접하여 사용하는 거리 5 cm 이격 되어 있을 때의 유도전류 밀도 및 국부 SAR 계산 모습을 보여주고 있다.



(a) 성인 남자 인체 모델 (b) 유도전류밀도 계산 (c) 국부 SAR 계산

그림 2-15 인체 모델 및 유도전류 및 국부 SAR 계산 모습

표 2-3은 휴대전화 무선충전기 전자파의 인체노출량 계산 결과를 보여주고 있다. 최대 근접 계산 결과 유도전류 밀도 값은 최대 51.5 mA/m² 으로 인체보호기준(250 mA/m²) 대비 약 1/5 수준으로 나타났으며, 국부 SAR 값의 경우 최대 2.2×10⁻⁶ W/kg으로 인체보호기준(1.6 W/kg) 대비 약 1/백만 수준으로 나타났다.

표 2-3 휴대전화 무선충전기 인체노출량 계산 결과

구분	유도전류밀도	국부 SAR	SAR(1g)	SAR(10g)	비고
5 cm 이격	51.5	2.2 × 10 ⁻⁶	7.03 × 10 ⁻⁷	1.79 × 10 ⁻⁷	5 W
20 cm 이격	3.6	1.2 × 10 ⁻⁸	3.5 × 10 ⁻⁹	2.5 × 10 ⁻⁹	5 W

<유도전류밀도 단위 : mA/m², SAR 단위 : W/kg >

제5절 결론

무선전력전송기기의 경우 국제적으로 전자파 인체노출량을 평가할 수 있는 측정 표준은 없는 상태이다. 본 연구는 무선전력전송기기 중 온라인전기 자동차의 전자파 인체전신 노출 조건에서의 평가방법을 도출하기 위해 이와 유사한 노출 환경에서 규정된 IEC 62110 평가방법을 고찰하여 적용하였다. 수치해석 결과 온라인 전기자동차의 외부에서의 전자파 인체전신 노출량은 3-point 공간평균 방법으로 계산한 결과와 최대오차 4%로 거의 일치

함을 알 수 있었으며 3-point 공간평균값 방법의 타당성을 확인하였다. 또한 온라인 전기자동차의 내부에서는 5-point 평가방법이 유용함을 확인할 수 있었다. 향후 기본 한계에 대한 이론적 정립을 통해 온라인전기자동차의 전자파 인체전신 노출량 평가방법 마련에 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 휴대전화 무선충전기 경우 국내·외적으로 전자파 인체노출량을 평가할 수 있는 측정 방법이 없는 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 휴대전화 무선충전기의 전력전송 방식중 자기유도 방식을 적용한 휴대전화 무선충전기의 전자파 인체 노출 측정 방법을 도출하기 위하여 수치해석 및 측정을 실시하였다. 수치해석 및 측정 결과 휴대전화 무선충전에서 발생되는 자기장 강도는 인체보호기준의 1/10수준이며, 인체에 유도되는 유도전류 밀도의 경우는 1/5수준으로 나타났다. 휴대전화 무선충전기의 측정 및 평가 방법의 경우는 휴대전화 무선충전기가 인체에 근접하여 사용될 경우를 고려하여 인체내부의 유도전류 및 SAR 평가가 이루어져야 되지만, 100 kHz 대역의 낮은 주파수 대역에 대한 인체영향 평가를 할 수 있는 측정시스템이 구현되어 있지 않으므로, 인체내부의 영향에 주는 물리량 즉 자기장 강도 측정 방법을 고려해야 한다. 현재 고려하고 되고 있는 휴대전화 무선충전기의 측정 방법 (안)은 실생활을 휴대전화 무선충전기 사용거리를 고려하여 20 cm 이격 거리를 두고 수평 및 수직 방향으로 측정하여 최대값을 휴대전화 무선충전기의 자기장 강도로 정하는 것을 고려하고 있다.

제3장 150 MHz SAR 측정방법 개선 연구

제1절 서론

2012년 1월 전자파흡수율(SAR) 기준이 국부 기준에서 전신, 국부(머리/몸통), 사지에 대한 전자파흡수율 기준으로 세분화하는 내용으로 전자파인체 보호기준 고시(미래창조과학부고시 제2013-118호)가 개정되었으며, 휴대전화에만 적용되던 머리 국부 SAR 기준이 무전기, 태블릿 PC 등 16종의 휴대용 무선통신기기로 대상기 자체가 확대(미래창조과학부고시 제2013-119호)되었다. 세분화된 SAR 기준과 적용대상 기자의 고시는 1년의 유예기간을 거쳐 2013년 1월 1일부터 시행되었다.

본 연구에서는 SAR 측정 대상기기로 포함된 무전기의 150 MHz 대역의 SAR 측정방법의 개선 방법에 대해 수치해석 방법을 통해 알아보았다. 현재 전자파흡수율에 대한 국제기준(IEC 62209-2)은 300 MHz 대역 이상의 주파수에 대해서만 적용이 가능하며, 상용 SAR 측정시스템도 300 MHz 이상의 주파수에 대해서만 측정이 가능하도록 되어 있다. 미국 FCC는 300 MHz 대역 이하의 주파수 대역에 대한 전자파흡수율 측정방법을 제시하고 있으나, 프로브 교정과 시스템 검증 시험은 300 MHz 대역의 값으로 대신하고 150 MHz 대역에 대한 프로브 교정 인자는 300 MHz 대역 이상의 교정 인자로부터 외삽하여 계산한 값을 적용하고 있다. '12년도 연구는 150 MHz 대역을 사용하는 휴대용 무선통신기기(무전기 등)에 대한 전자파흡수율 유효성 평가를 위한 SAR 목표값과 측정에 필요한 기준 다이폴 안테나 및 평면형 모의인체의 크기를 제시한바 있다. SAR 측정시스템의 유효성 평가는 측정시스템이 산출하는 SAR 값이 국제 표준에서 제시하는 수치 해석 목표값의 유효 범위 내에 있는지를 검증하여 측정시스템이 정확하게 동작한다는 것을 확인하기 위해 반드시 필요한 과정이다.

'12년도에 제시된 150 MHz 대역의 연구결과로는 SAR 유효성 평가를 할 때 사용하는 평면형 모의인체의 크기가 문제가 되었으며, 평면형 모의인체가 너무 커서 많은 양의 인체조직 유사액체의 사용으로 SAR 측정상의 재현성 등에 문제가 발생하였다. 실제로 기존의 300 MHz 대역 이상(그림 3-1)의 평면형 모의인체에는 30리터 정도만 사용되지만, 150 MHz 대역(그

림 3-2)에서는 200리터 이상의 인체조직 유사액체가 사용되기 때문에 기존에 비해 7배 이상이 사용된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 금년에는 평면형 모의인체의 크기를 최소로 줄이는 개선 연구를 수행하였다.

제2절 평면형 모의인체에 대한 최적의 크기 개선 연구

‘12년에 제시된 150 MHz 대역의 SAR 유효성 평가를 위한 기준값들을 살펴보면, 기준 다이폴 안테나의 복사체 길이는 760 mm이며(그림 3-3), 반사손실은 -25.48 dB이다. 그리고 평면형 모의인체의 크기는 1300 mm(L) × 900 mm(W) × 200 mm(H)이며(그림 3-2), 수치해석 SAR 목표값은 1 g인 경우 1.08 W/kg, 10 g인 경우 0.77 W/kg이다. 이 기준값들을 도출하기 위하여 수치해석을 통해 최적의 값들을 결정하였다. 먼저, 인체조직 유사액체의 전기정수는 IEC 62209-2에서 제시한 전기정수(상대유전율 : 52.4, 전기전도도 : 0.76 S/m)를 이용하였다. 그리고 평면형 모의인체는 300 MHz 대역의 기준 규격으로부터 환산한 1300×900×200 mm(L, W, H), 6 mm(d)의 크기로 설정하였다. 그리고 기준 다이폴 안테나는 반사손실이 -20 dB 보다 좋아야 하므로 700 mm에서 800 mm까지 다이폴 안테나의 길이를 변화시켜가며 최적의 공진점을 확인하였다. 이때 사용한 발룬의 길이는 500 mm이며 다이폴 안테나의 직경은 6.3 mm로 하였다. 계산 결과, 150 MHz에 대한 기준 다이폴 안테나의 길이는 760 mm에서 최적의 공진이 일어남을 확인하였으며, 이때 반사손실은 -25.48 dB이다.

본 연구에서는 최적의 150 MHz 대역 평면형 모의인체의 크기를 알아내기 위하여 ‘12년도에 제시된 150 MHz 대역의 기준 다이폴 안테나는 그대로 사용하고 평면형 모의인체의 크기를 가로 세로 같은 비율로 size 1~size 5(10~50 %)까지 변화시켜가며 수치해석의 방법을 통해 RRA 고시 기준에 적합한 최적의 크기를 결정하였다. 여기서, Size 1(10 %)는 1170×810×200 mm, Size 2(20 %)는 1040×720×200 mm, Size 3(30 %)는 910×630×200 mm, Size 4(40 %)는 780×540×200 mm, Size 5(50 %)는 650×450×200 mm이다. 수치해석을 통해 얻어진 최적의 크기는 Size 4(40 %)로 780×540×200 mm(L, W, H)이며, 이를 적용하여 그림 3-1과 같이 실제 평면형 모의인체를 제작하여 SAR 유효성 평가를 통해 교정 범위내에 있는지를 확인하였다.

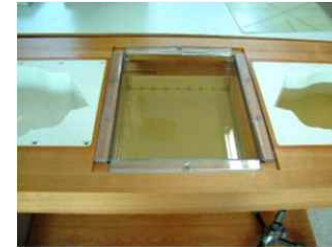


그림 3-1 300 ~ 800 MHz 대역의 평면형 모의인체(600 mm(L) × 400 mm(W) × 170 mm(H)) 모습

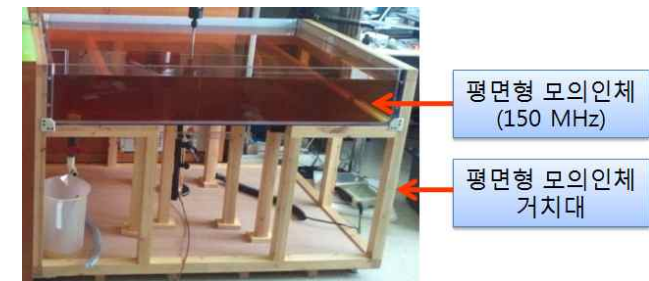


그림 3-2 제작된 150 MHz 대역의 평면형 모의인체



그림 3-3 제작된 150 MHz 대역의 다이폴 안테나

먼저, 수치해석에 대한 신뢰성 검증을 위하여 표 3-1과 같이 150 MHz 대역의 RRA 고시 주파수, 300, 835 MHz 대역의 IEC 국제 표준에서 제시하는 평면형 모의인체와 기준 다이폴 안테나의 크기, 인체조직 유사액체의 전

기적 특성 등을 사용하여 각 주파수 대역별 안테나의 반사손실을 산출해 내었으며, 그 결과를 IEC에서 제시하는 기준값과 비교하여 보았다. 그 결과, 3개의 주파수 대역 모두 안테나의 반사손실 기준(<-20 dB)을 만족하는 것으로 밝혀졌다.

표 3-1 150 MHz 대역의 평면형 모의인체, 기준 다이폴 안테나의 크기와 인체조직 유사액체 특성 데이터(RRA 고시)

주파수 MHz	모의인체 mm				다이폴 안테나 mm			인체조직 유사액체	
	L ₁	W	H	D	L ₂	d	h	비유전율	도전율
150	1300	900	200	6	760	6.3	500.0	52.4	0.76

표 3-2 300, 835 MHz 대역의 평면형 모의인체, 기준 다이폴 안테나의 크기와 인체조직 유사액체 특성 데이터(IEC 62209-2 국제 표준)

주파수 MHz	모의인체 mm				다이폴 안테나 mm			인체조직 유사액체	
	L ₁	W	H	D	L ₂	d	h	비유전율	도전율
300	1000	800	170	6	396	6.3	250.0	45.3	0.87
835	360	300	150	2	161	3.6	89.8	41.5	0.9

표 3-3 150, 300, 835 MHz 대역의 반사손실의 시뮬레이션 결과

주파수 MHz	안테나와 모의인체바닥까지의 이격거리 mm, S	안테나의 반사손실 dB
150	15	-25.48
300	15	-23.22
835	10	-23.69

평면형 모의인체의 크기에 의한 SAR 영향을 수치해석을 통하여 확인하였다. RRA 고시에서 제시하는 150 MHz 대역의 기준 다이폴 안테나의 크기는 고정하고 표 3-1, 표 3-2에서 제시하는 150, 300, 835 MHz 대역의 평면형 모의인체의 크기에 대하여 그림 3-2와 같이 설정하였다. 기준 다이폴 안테나의 반사손실의 특성을 확인하였으며, SAR 수치해석 유효성 평가 결과값을 확인한 다음 RRA 고시에서 제시하는 SAR 수치해석 목표값과 비교하여 교정 유효 범위내에 있는지를 확인하였다. 그 결과, 다이폴 안테나의 반사손실은 표 3-3과 같이 IEC에서 제시하는 기준(<-20 dB)을 모든 주파

수 대역에서 만족하였다. 그리고 주파수 대역별 평면형 모의인체 크기에 따른 SAR값의 오차를 확인해 본 결과, 150 MHz 대역 SAR 측정시 IEC에서 제시하는 300 MHz 대역 평면형 모의인체를 적용해도 1 %의 오차 범위내에 들어와 평가에 사용해도 문제가 없으며, 800 MHz 대역에 적용되는 평면형 모의인체를 사용할 경우 오차 범위가 너무 넓어 사용이 불가한 것으로 밝혀졌다(표 3-4).

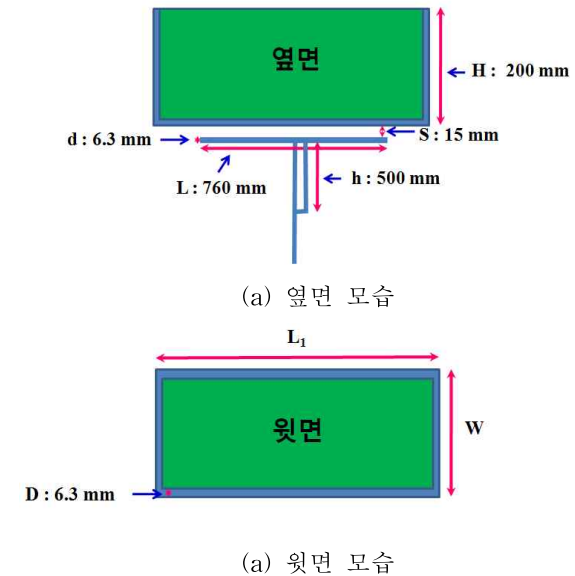


그림 3-4 SAR 영향 분석을 위한 평면형 모의인체의 설정조건

표 3-4 평면형 모의인체의 크기에 따른 150 MHz 대역에서의 SAR 수치해석 결과

모의인체의 크기/mm (L, W, H)	S11 dB	1g SAR W/kg	10g SAR W/kg
1300, 900, 200 (150 MHz용)	-25.48	1.08	0.77
1000, 800, 170 (300 MHz용)	-22.14	1.10	0.78
360, 300, 150 (835 MHz용)	-2.32	0.495	0.36

300 MHz 이하 주파수 대역에서 SAR 평가를 위한 최소 크기의 평면형

모의인체를 도출하기 위하여 가로 세로 동일한 비율로 size 1~size 5(10~50 %)까지 줄이면서 수치해석을 통해 최적의 크기를 결정하였다. 수치해석 결과, 평면형 모의인체의 크기를 size 4(40 %)까지 줄여도 SAR 유효성 범위내로 RRA 고시 기준을 만족하는 것으로 나타났다(표 3-5).

표 3-5 평면형 모의인체의 크기 변화에 따른 안테나 반사손실 및 SAR 수치해석 결과

구분 (L*W*H)	반사손실(S11)	1g SAR	10g SAR	비고
Size 0(150 MHz) 1300*900*200 mm	< -20 dB -25.48 dB	1.08 W/kg	0.77 W/kg	RRA 고시
Size 1(10 %) 1170*810*200 mm	-23.64 dB	1.157 W/kg	0.815 W/kg	기준 만족
Size 2(20 %) 1040*720*200 mm	-23.72 dB	1.157 W/kg	0.815 W/kg	기준 만족
Size 3(30 %) 910*630*200 mm	-23.82 dB	1.16 W/kg	0.814 W/kg	기준 만족
Size 4(40 %) 780*540*200 mm	-24.1 dB	1.16 W/kg	0.814 W/kg	기준 만족
Size 5(50 %) 650*450*200 mm	-12.77 dB	1.22 W/kg	0.86 W/kg	S11 불만족

그리고 수치해석 결과에 대한 검증을 위하여 300 MHz 대역의 평면형 모의인체 크기와 유사한 size 2(20 %) 및 최소 크기인 size 4(40 %)에 대하여 그림 3-5와 같이 제작하여 SAR 유효성 평가를 실시하였다. 제안된 평면형 모의인체의 크기에 대한 SAR 유효성 측정 결과와 RRA 고시의 수치해석 SAR 목표값('12년)과 비교하여 SAR 교정 범위내에 있는지를 확인하였다. SAR 유효성 평가는 다음의 절차로 수행을 하였다. 단, IEC 62209-2에 따르면, 측정된 SAR값은 수치해석 SAR 목표값의 $\pm 10\%$ 범위 이내이어야 한다.

1) 평면형 모의인체에 인체조직 유사 액체를 모의인체 바닥면으로부터

20 cm 이상이 되도록 채운다.

- 그림 3-6과 같이 유효성 평가를 위한 측정장비를 구성한다. 이때, 파워미터(PM : Power Meter)는 교정(Calibration)을 한 후에 사용한다.
- 평면형 모의인체의 바닥면 중앙에 기준 다이폴 안테나를 설치한다. 기준 다이폴 안테나는 모의인체의 바닥면의 주축과 평행한 축의 중심에 위치하여야 한다. 또한, 설치 시 모의인체와 기준 다이폴 안테나의 간격(S)은 저손실(손실 탄젠트 < 0.05) 및 저유전 상수(상대유전율 < 5)를 갖는 공간 이격자를 사용하여 기준 다이폴 안테나의 상단 표면과 모의인체의 바닥면 표면 사이의 정확한 거리를 유지한다. 이격거리(S)는 1 GHz 이하의 측정 주파수에 대해 15 ± 0.2 mm 이내로 유지되어야 한다.
- RF 케이블을 PM1(파워미터 1)에 연결하고, 신호 발생기의 출력을 미세 조정하여 PM1의 측정값이 250 mW (24 dBm)가 되도록 설정하고 PM2(파워미터 2)에 측정된 출력값(dBm)을 기록한다.
- 신호발생기의 출력을 끈 후 RF 케이블에 연결된 PM1을 빼내고 RF 케이블을 모의인체 바닥면 아래에 설치된 기준 다이폴 안테나에 연결한다.
- 신호발생기의 출력을 켜 후 제4항에서 기록한 PM2의 출력값과 동일하도록 신호발생기의 출력을 설정한다.
- SAR 측정 절차(RRA 고시)에 따라 평면형 모의인체 내(內)에서 1g과 10g SAR을 측정한다. 이때, 1g과 10g SAR 평균값은 기준 다이폴의 정규 입사 전력 1 W로 정규화 되어야 한다. 따라서 유효성 평가에 대한 SAR값은 측정된 SAR값에 4배를 곱한 값($250 \text{ mW} \times 4 = 1 \text{ W}$)이 된다.

위의 방법으로 측정한 size 2와 size 4의 1g 및 10g SAR 값들을 수치해석 SAR 목표값(1g : 1.08 W/kg, 10g : 0.77 W/kg)과 비교하였다. 측정값을 비교한 결과, 두 개의 평면형 모의인체 크기의 1g 및 10g SAR값들 모두 10 % 이내로 RRA 고시에서 요구되는 기준을 만족하였다(표 3-6, 그림 3-7, 그림 3-8). 그림 3-7은 size 0, size 2 및 size 4의 평면형 모의인체에 대한 SAR 수치해석 분포 특성을 보여준다. 결과에 따르면, 평면형 모의인체의 크기 조건에 따른 수치해석 특성이 유사하게 나타나 평면형 모의인체내의 흡수되는 에너지의 변화에는 영향이 거의 없는 것으로 확인되어 최적의 크

기로 제안하는 것에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 그림 3-8은 size 0, size 2 및 size 4 크기의 평면형 모의인체에 대한 SAR 측정 분포 특성을 보여주고 있으며, 주어진 조건의 크기 변화에 따른 SAR값 특성 변화는 없는 것으로 나타났다. 따라서 size 4(780*540*200(mm))의 크기로 줄여도 150 MHz 대역용 평면형 모의인체로 사용할 수 있는 것으로 나타났다.



그림 3-5 제작된 150 MHz 대역 평면형 모의인체(size 4)

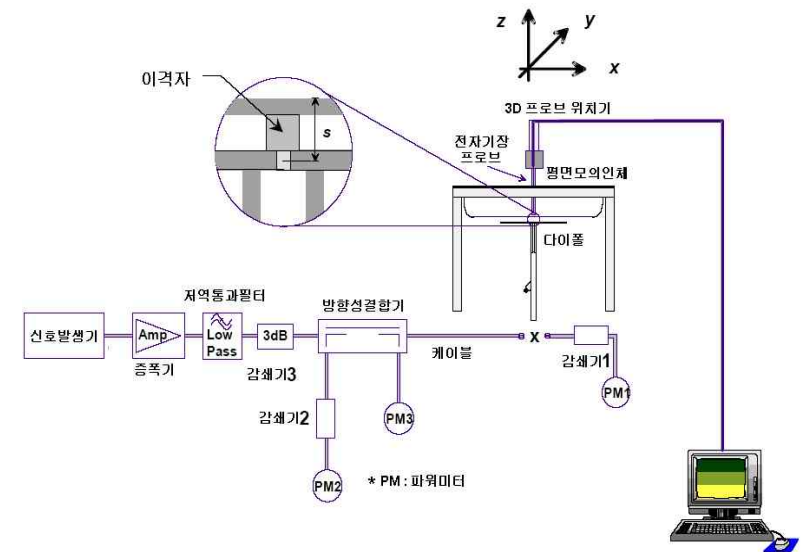
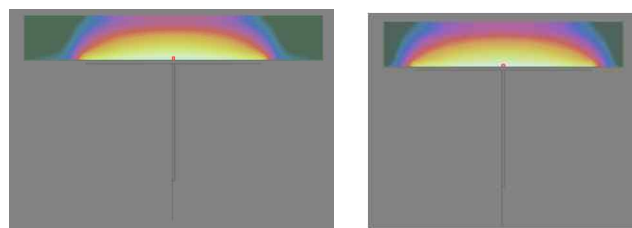


그림 3-6 SAR 측정 시스템 성능 검사를 위한 측정 장치 구성도

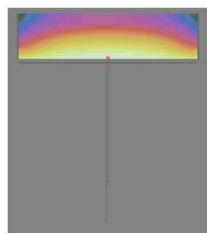
표 3-6 150 MHz 대역의 수치해석 결과와 유효성 측정에 대한 1g 및 10g SAR값

구분 (L*W*H)		S11 dB	1g SAR W/kg	10g SAR W/kg	비고
Size 0(150 MHz) 1300*900*200 mm	수치해석값	< -20 -25.48	1.08	0.77	RRA 고시 (해석목표값)
	측정값	-27.57	1.13	0.81	기준 만족
1040*720*200 mm : Size 2	수치해석값	-23.72	1.157	0.82	기준 만족
	측정값	-21.81	1.11	0.78	기준 만족
780*540*200 mm : Size 4	수치해석값	-24.1	1.16	0.814	기준 만족
	측정값	-22	1.09	0.8	기준 만족



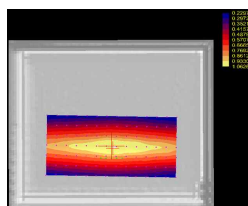
< Size 0 >

< Size 2 >

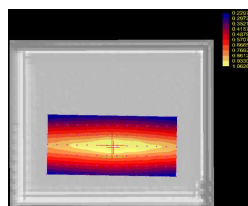


< Size 4 >

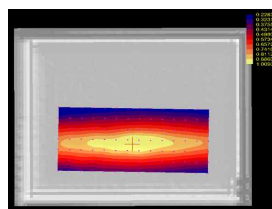
그림 3-7 Size 0, Size 2, Size 4 평면형 모의인체의 SAR 유효성 수치해석 결과



< Size 0 >



< Size 2 >



< Size 4 >

그림 3-8 Size 0, Size 2, Size 4 평면형 모의인체의 SAR 유효성 평가 결과

제3절 결론

본 연구에서는 150 MHz의 낮은 주파수 대역에서 SAR 평가를 위해 상당히 클 수밖에 없는 평면형 모의인체를 수치해석을 통하여 최적의 크기를 제시하였으며, 이에 대한 검증은 위하여 SAR 유효성 평가를 통해 RRA 고시에서 제시하는 SAR 유효성 범위 내에 있는지를 확인하였다. 그 결과, size 4(780*540*200(mm))까지 SAR 측정 유효성 기준을 만족하는 것으로 나타났으며, 실제로 150 MHz 대역용 평면형 모의인체로 사용하는 것은 문제가 없는 것으로 나타났다. 이는 기존의 150 MHz 대역의 평면형 모의인체에 사용되는 인체조직 유사액체의 양을 2/3 이상으로 줄여주는 효과로서, 지정시험기관 등에서 요구하는 SAR 측정상의 재현성 등 애로사항들을 개선할 수 있을 것이다. 또한, 본 연구를 통해 도출된 규격들은 국내 SAR 측정방법의 개선과 IEC 국제표준으로 반영될 수 있을 것으로 기대된다.

제4장 SAR 평가를 위한 손 영향 연구 및 표준화 동향

제1절 개 요

그 동안은 휴대전화의 SAR 측정시 손 영향을 고려하지 않았으나 '08년부터 손(파지 형태와 위치에 따라)에 의한 영향으로 SAR값이 높게 나타나는 연구결과들이 나와서 IEC TC106 PT 62209에서 이에 대한 검증 연구가 시작되었다. 이에 대한 제기는 영국의 보다폰(Vodafone) 통신사를 중심으로 유럽 통신사업자들이 휴대전화 제조업체에게 SAR 측정시 손의 영향을 고려해야 된다고 강하게 주장하였고 SAR 측정시스템 개발업체인 SPEAG社도 SAR 측정방법 표준에 손 팬텀을 적용하기 위하여 SAR의 영향 연구를 꾸준히 진행해 왔다. 반면에 휴대전화 제조업체들은 SAR 측정시 휴대전화를 파지할 수 있는 손 팬텀의 적용으로 측정조건의 수가 늘어나 측정 시간 및 인증 비용이 증가하고 SAR 측정 재현성의 어려움과 불확정도가 증가하는 이유 등으로 강력하게 반대하였다. 따라서 손 팬텀 적용에 찬성하는 입장은 영국 보다폰 등 통신사업자 및 SAR 측정시스템 개발업체(SPEAG社) 등이며, 손 팬텀 적용에 대한 반대 입장은 노키아, 모토로라, 삼성, LG 등 휴대전화 제조업체로 구분되어 찬반 의견에 대한 꾸준한 논쟁이 되어 왔다. 그 동안 5년 넘게 손을 고려한 SAR 측정방법의 적용 여부에 대해 많은 논란과 연구가 꾸준히 진행되어 왔으나, 손에 의한 영향으로 SAR값이 더 크게 나타난다는 일관된 결론을 내지 못하여 올해 10월 IEC TC106 총회에서 SAR 측정방법 표준에 손을 적용하지 않는 것으로 결론을 내렸다.

제2절 그 동안의 연구 현황

'09년부터 손을 고려한 휴대전화(800 MHz 대역 이상)의 SAR 측정방법에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 그러나 그 동안의 연구 결과들은 결론을 내리기 위한 일관된 경향성이 없어서 명확한 결론을 도출하지 못하였다. 그 연구 결과들을 살펴보면, 먼저, '09년부터 '12년도까지 HEMI(Hand

Effect Measurement Interlab) RR(Round Robin) 테스트와 SAM 팬텀 시물레이션 연구가 수행되었다. HEMI RR 테스트는 지정시험기관 SEMCAB(호주), PCTEST(미국), 삼성(한국), 노키아(핀란드), NTT Docomo(일본), 이탈리아 텔레콤(이탈리아) 등이 참여하였다. 그리고 휴대전화 모델 33개(바타입(14개), 슬라이드(9개), 폴더(4개), PDA(6개))는 포다폰 통신사(영국)에서, 손 팬텀은 ITIS사(스위스)에서 제공하였다(그림 4-1). 측정은 오른쪽 SAM을 사용하여 접촉조건에 손 팬텀 사용 유무에 대하여 SAR 측정을 하였다(그림 4-2). 그 결과, 33개의 휴대전화 모델중 에서 5대의 휴대전화 모델(1.8 GHz~2.1 GHz)에서 손 팬텀이 있는 경우에 SAR값이 증가(5 % ~ 40 % 수준)하는 것으로 나타났으나, 대부분의 연구 결과들은 손 팬텀에 의한 영향으로 SAR값이 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 휴대전화와 손바닥 사이의 거리와 터치 여부 및 손가락 터치 위치에 따른 SAR 측정값의 편차가 크게 나타났으며, 손에 의한 SAR 영향이 있다고 판단하기에는 일관된 경향을 보이지 않는 것으로 나타났다(그림 4-3).



그림 4-1 측정에 사용된 손 팬텀

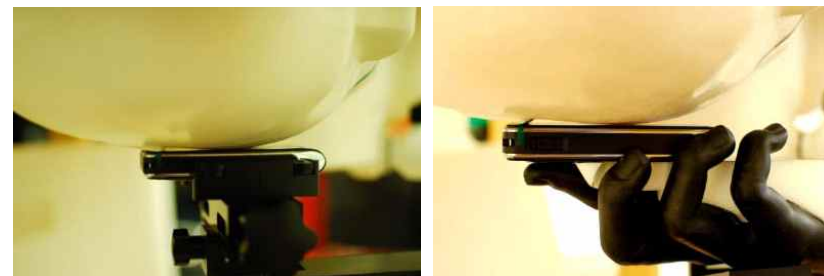
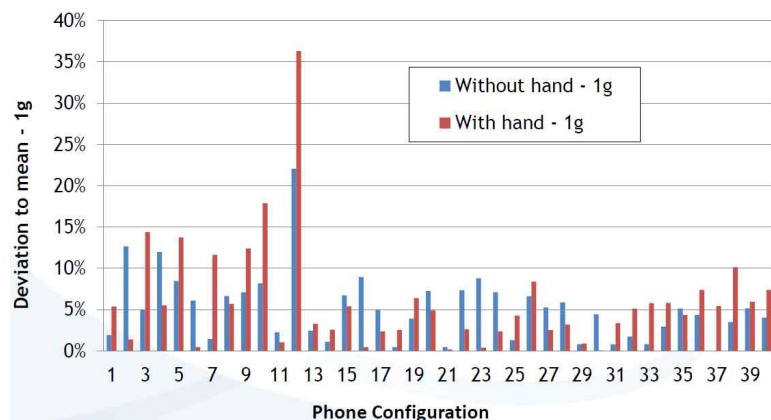
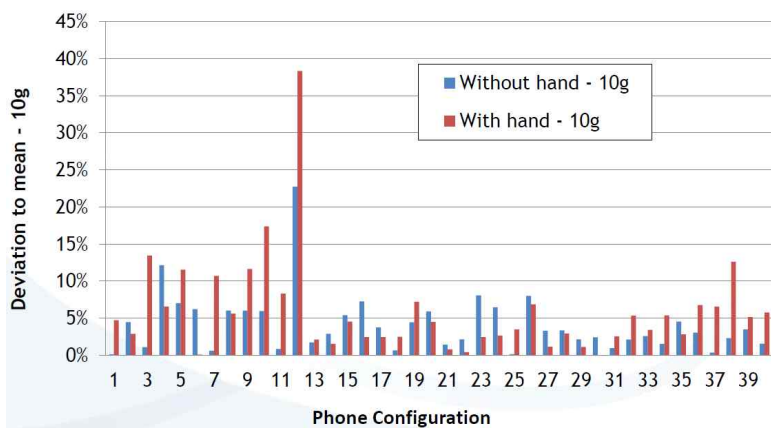


그림 4-2 전자파흡수율 측정조건



(a) 1 g SAR값 편차



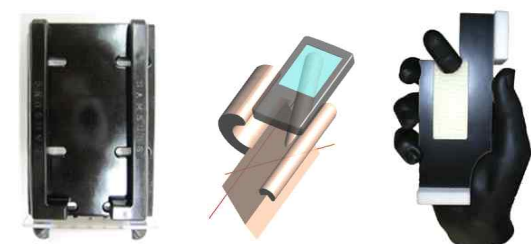
(b) 10 g SAR값 편차

그림 4-3 손 팬텀 사용 유무에 따른 SAR값 편차

지정시험기관간의 RR 테스트에서 손 팬텀에 의한 SAR값이 증가하는 일부 결과가 나타나 '12년부터 휴대전화 제조업체와 SAR 측정시스템 개발업체를 중심으로 구성된 Ad-hoc 연구팀에서 CTIA 손 팬텀을 대신할 수 있는 개량형 휴대전화 거치대에 대한 추가 연구가 진행되었다.

그리고 올해 5월에 개최된 IEC TC106 MT1(Maintenance : 유지보수)회

의에서 발표한 우리나라의 연구결과 내용을 소개한다. SAR 측정은 OTA 성능 테스트를 위해 사용되는 CTIA(미국) 손 팬텀과 ITIS사(스위스)에서 제안하는 손 팬텀 및 삼성(한국)에서 제안하는 손 팬텀 등 3가지의 손 팬텀(그림 4-4)과 개량형 휴대전화 거치대(그림 4-5)를 사용하였다. 측정조건은 오른쪽 모의인체의 접촉조건에서 제안된 3개의 손 팬텀을 거치하여 SAR 측정을 실시하였다(그림 4-6). 3개의 손 팬텀 거치대들에 대한 정규 SAR 비교 측정결과, 손 영향에 대한 개연성을 확인하지 못하여 결론을 내릴 수가 없었다(그림 4-7).



(a) 삼성 제안 (b) ITIS사 제안 (c) CTIA
그림 4-4 제안된 3개의 손 팬텀

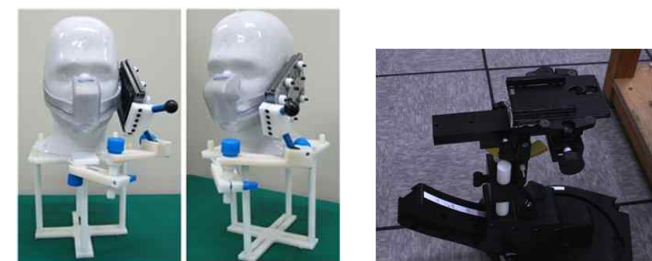
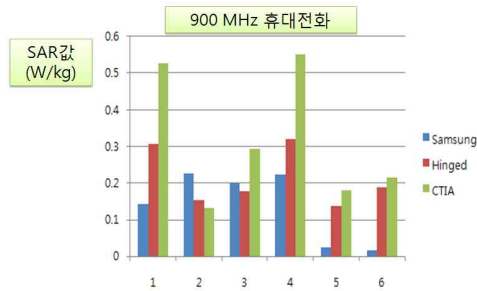


그림 4-5 손 팬텀의 거치대

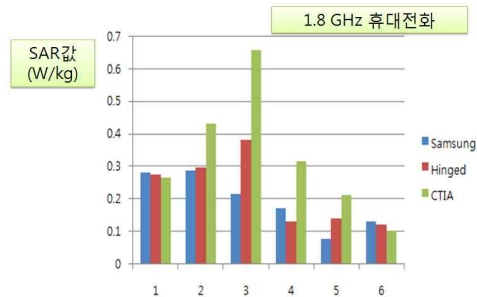


(a) 삼성 제안 (b) ITIS사 제안 (c) CTIA

그림 4-6 3개의 손 팬텀 거치대의 SAR 측정 조건



(a) 900 MHz SAR 측정 결과



(b) 1.8 GHz SAR 측정 결과

그림 4-7 3개의 손 팬텀 거치대의 SAR 측정 결과

그리고 CTIA 손 팬텀, 삼성 제안 손 팬텀과 실제 사람 손을 이용하여 손 팬텀과 실제 사람 손과의 개연성을 확인하였다. 측정은 삼성전자(한국), CTIA(미국) 등 2개의 손 팬텀과 실제 사람 손을 사용하였으며, 그림 4-8과 같은 손 파지 형태로 오른쪽 모의인체의 접촉조건에서 스위스의 고속 SAR

측정시스템을 사용하여 측정하였다(그림 4-9). 실제 사람 손과 손 팬텀과의 고속 SAR 비교 측정한 결과, 실제 사람 손과 삼성 제안 손 팬텀과는 유사한 패턴의 결과를 얻었으나, 손에 의한 SAR값이 높다는 경향성 있는 결과는 얻지 못하였다(그림 4-10).



(a) 삼성 제안 (b) ITIS사 제안 (c) 실제손

그림 4-8 제안된 3개의 손 팬텀



그림 4-9 삼성 제안 손 팬텀, CTIA 손 팬텀, 실제 손과의 SAR 비교 측정 모습

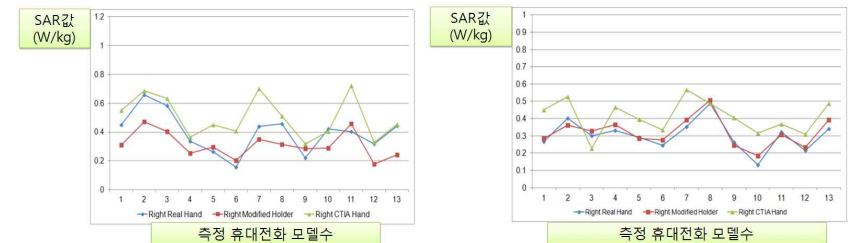


그림 4-10 삼성 제안 손 팬텀, CTIA 손 팬텀, 실제 손과의 SAR 비교 측정 결과

그리고 CTIA 손 팬텀, 삼성 제안 손 팬텀과 실제 사람 손에 의한 안테나의 반사손실 변화 여부를 확인하였다(그림 4-11). 그 결과, 손에 의한 안테나의 반사손실 특성을 판단할 수 있는 경향성을 확인하지 못하였다(그림 4-12).



그림 4-11 삼성 제안 손 팬텀, CTIA 손 팬텀, 실제 손과의 안테나의 반사손실 비교 측정 모습

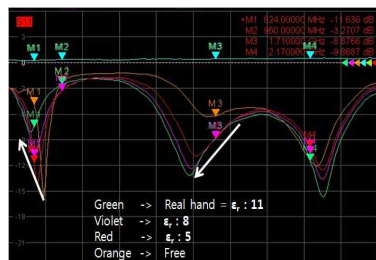
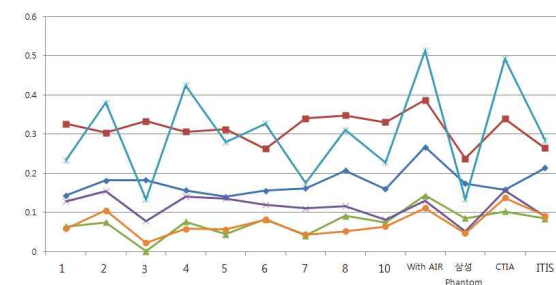


그림 4-12 휴대전화 안테나의 반사손실 비교값

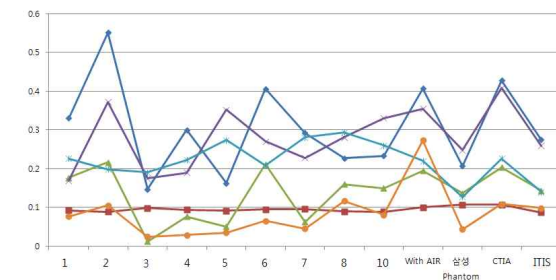
그리고 CTIA 손 팬텀, 삼성 제안 손 팬텀과 10명의 실제 사람 손과의 SAR 영향의 개연성과 손 파지에 따른 SAR값 변화 여부를 국내 상용 고속 SAR 측정시스템(Quick SAR)을 사용하여 확인하였다(그림 4-13). 그 결과, 손 팬텀과 실제 사람 손과의 일관된 경향성을 확인하지 못하였다(그림 4-14).



그림 4-13 손 팬텀과 10명의 실제 손과의 SAR 비교 측정 모습



(a) 900 MHz 대역의 휴대전화 SAR 비교 측정 모습



(b) 1800 MHz 대역의 휴대전화 SAR 비교 측정 모습

그림 4-14 손 팬텀과 10명의 실제 손과의 SAR 비교 측정 결과

따라서 우리나라는 5월 IEC TC106 MT1회의에서 손에 의한 SAR값 결과가 경향성이 없는 것으로 나타나 손을 적용하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다는 내용을 제안하였다. 논의 결과, 손에 의한 영향으로 SAR값이 증가한다는 타당한 근거와 일관된 경향성을 확인하지 못하여 결론내리지 못하였다.

제3절 결 론

현재까지 진행한 연구결과들을 종합적으로 볼 때, CTIA 손 팬텀, 삼성 제안 손 팬텀 및 ITIS 제안 손 팬텀들은 다양한 손 크기, 휴대전화의 파지 방법, 손가락 및 손바닥 터치 위치에 따른 손 영향을 모두 반영하기가 어려운 것으로 나타났다. 또한 이 손 팬텀들이 실제 사람 손과 동일한 특성을 갖는다는 것과 손 팬텀 또는 손에 의한 영향으로 SAR값이 증가한다는 것에 대한 일관된 경향성을 찾지 못하였다. 따라서 IEC TC106 총회에서는 이러한 연구결과들과 IEC에서 각국 NC들에게 손 영향 적용 여부에 대한 의견 수렴한 결과들을 분석하여 머리 SAR 측정방법 표준에 손을 적용하지 않기로 최종적으로 결정하였다. 그러나 정보제공용으로 머리 SAR 측정방법 개정 표준 문서의 부록에 그 동안 수행하였던 손 팬텀 거치대에 대한 연구 내용들을 정리하여 추가하기로 하였다.

제5장 향후 연구 방향

최근 LTE 무선국이 급증함에 따라 무선국의 전자파 노출량 평가시 다양한 전자파 노출 환경을 고려한 무선국의 전자파강도 측정방법의 개선 필요성이 부각되었다. 이를 위해 무선국으로부터 발생하는 전자파 인체노출량에 대한 측정방법을 보다 엄격히 하고, 측정위치 및 측정지점 선정방법 등 측정방법을 명확히 하여 전자파강도 측정기준 고시 개정(안)을 마련하였다. 개정 고시(안)은 기존에 설치되어 있는 타 무선국과 동일 사업자의 Dual-mode 안테나 등 다중노출 환경을 고려하여 기존 다중노출 지수 0.2를 0.05로 강화하였으며, 현행 무선국 전자파강도의 측정시 측정자에 따라 지점 선정이 달라 일관성 있는 위치선정을 위해 측정지점 선정 방법을 구체적으로 명시하였다. 이 전자파강도 측정기준 개정 고시(안)은 2013년 12월 말까지 행정예고를 거쳐 내년 상반기에 개정고시 될 예정이다. 이번 전자파강도 측정기준의 개정을 통해 복잡 다양해지는 무선국 신호를 고려하여 다중노출 환경의 전자파 노출 평가를 강화할 수 있고, 무선국의 전자파강도 측정결과에 대한 재현성과 신뢰성이 제고될 것으로 기대한다.

또한, 미래창조과학부는 휴대전화 및 기지국의 전자파에 대하여 일반 국민이 좀 더 안심하고 사용 및 접근할 수 있도록 학계, 제조사, 이통사 및 관련 연구기관 등이 참여하는 공청회를 개최하고 전자파 등급제 고시(안)의 행정예고를 거쳐 2013년 8월 1일에 「전자파 등급기준, 표시대상 및 표시방법 고시(미래창조과학부고시 제2013-29호)」를 제정·고시하였다. 이 고시는 고시일로부터 1년간의 유예기간을 두어 2014년 8월 1일부터 강제 규제로 시행될 예정이다. 전자파강도 측정기준의 개정과 전자파 등급제도 제정을 통해 정부는 전자파에 대한 인체노출량 측정값에 대해 신뢰성을 제고하고 일반인이 제품 선택시 전자파에 대한 정보를 확인할 수 있도록 하여 전자파에 대한 불안감 해소에 기여하고 제조사의 전자파 노출량을 낮춘 제품 개발을 유도할 수 있을 것으로 기대한다.

국립전파연구원은 국민의 전자파에 대한 불안감 해소와 전자파에 대한 정보제공 차원에서 일상생활에서 많이 사용하는 가전제품을 대상으로 전자파 노출량을 측정 조사하고 있다. 올해에는 가전제품 52개 품목의 전자파 노출량을 측정 조사 결과를 분석하여 전자파를 줄이는 “가전제품 사용 가이드

라인”을 마련하였다. 가전제품의 전자파 안전이용 가이드라인은 대부분의 가전제품은 30 cm 떨어져서 사용하면 전자파가 1/10로 줄어들기 때문에 “생활가전제품 사용 시에는 가급적 30 cm 이상거리를 유지 하세요”, “밀착하여 장시간 사용하는 전기장판의 경우 담요를 깔고, 온도는 낮게, 온도 조절기는 멀리 하세요” 등 7개의 가이드라인을 제시하고 전국 교육기관에 배포하였다.

최근 기술 개발로 상용화를 추진하고 있는 무선전력전송기기의 경우 국제적으로 전자파 인체노출량을 평가할 수 있는 측정 표준은 없는 상태이다. 본 연구에서는 무선전력전송기기 중 온라인전기자동차의 전자파 인체전신 노출 조건에서의 평가방법을 도출하기 위해 이와 유사한 노출 환경에서 규정된 IEC 62110 평가방법을 고찰하여 적용하였다. 수치해석 결과 온라인 전기자동차의 외부에서의 전자파 인체전신 노출량은 3-point 공간평균 방법으로 계산한 결과와 최대오차 4%로 거의 일치함을 알 수 있었으며 3-point 공간평균값 방법의 타당성을 확인하였다. 또한, 온라인 전기자동차의 내부에서는 5-point 평가방법이 유용함을 확인할 수 있었다. 향후 기본 한계에 대한 이론적 정립을 통해 온라인전기자동차의 전자파 인체전신 노출량 평가방법 마련에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

국제기준에서 제시하고 있지 않은 150 MHz 주파수 대역에 대한 전자파 흡수율 측정방법에 대해서는 ‘12년도에 SAR 측정시스템의 유효성 평가를 위한 기준 다이폴 안테나 및 평면형 모의인체의 크기를 제시한바 있다. 올해에는 수치해석을 통하여 최소의 150 MHz 대역용 평면형 모의인체의 최적의 크기를 제시하고 SAR 유효성 평가를 통해 RRA 고시에서 제시하는 150 MHz 대역의 SAR 유효성 범위 내에 있는지를 확인하였다. 그 결과, 기존의 150 MHz 대역의 평면형 모의인체에 사용되는 인체조직 유사액체의 양을 2/3 이상으로 줄일 수 있는 780x540x200(mm) 크기의 평면형 모의인체에서 SAR 측정 유효성 기준을 만족하는 결과를 얻었다. 향후 도출된 규격들은 국내 SAR 측정방법 및 IEC 국제표준으로 반영될 수 있을 것으로 기대된다.

국제적으로 휴대전화의 전자파흡수율 측정시 손에 의한 영향을 고려하기 위한 연구가 5년 동안 진행되어 왔다. 국내에서도 그 동안 고려되어온 표준 손 팬텀 3종류에 대하여 다양한 휴대전화와 주파수 대역에서 손 영향 여부

를 확인하기 위한 시험을 수행한 결과, SAR 시험시 손 영향을 고려해야 할 필요성을 발견하지 못하였으며, 그 결과를 IEC 회의에서 국내 입장으로 발표하였다. IEC는 손에 의한 영향으로 SAR값이 더 크게 나타난다는 일관된 결론을 내지 못하였으며, 10월 IEC TC106 총회에서 SAR 측정방법 표준에 손을 적용하지 않는 것으로 결론을 내렸다. 다만, 손에 대한 그간의 연구결과를 정리하여 정보제공을 위해 머리 SAR 측정방법 표준 문서의 부록에 추가하기로 결론지었다.

국립전파연구원은 향후에도 일반 국민들이 안전하게 전자파를 사용할 수 있는 환경 조성을 위하여 국제 표준 및 기준 변화에 적극적으로 대응하고 다양한 노출 환경들을 고려한 합리적인 전자파 인체노출량 평가방법을 마련할 할 것이며, 국민들의 전자파에 대한 인식제고를 위하여 홍보 활동을 꾸준히 추진해 나갈 것이다.

참고문헌

- 1 “전자파 인체보호기준”, 미래창조과학부고시 제2013-118호, 2013.8.29.
- 2 “전자파강도 및 전자파흡수율 측정대상 기자재”, 미래창조과학부고시 제 2013-119호, 2013.8.29.
- 3 “전자파 등급기준, 표시대상 및 표시방법”, 미래창조과학부고시 제2013-29호, 2013.8.29.
- 4 “전자파흡수율 측정기준”, 국립전파연구원고시 제2012-23호, 2012.12.6.
- 5 “전자파흡수율 측정방법에 관한 세부사항”, 국립전파연구원공고 제 2012-43호, 2012.12.6.
- 6 “전자파강도 측정기준”, 국립전파연구원고시 제2012-21호, 2012.11.6.
- 7 IEC Std. 62209-1 "Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity to the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz)", 2005.
- 8 IEC Std. 62209-2 "Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for wireless communication device used in close proximity to the human body(frequency range of 30 MHz to 6 GHz)", 2010.
- 9 IEEE Std. 1528 “IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices : Measurement Techniques”, 2003.
- 10 FCC OET Bulletin 65 Supplement C, "Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields", 2001.
- 11 2000 Telecommunications Technology Council Report of JAPAN, "Measurement of SAR from Mobile Phone Terminals and Other Terminals that are Intended for Use in Close Proximity to the Side of the Head", 2000.
- 12 IEC 62233 : Measurement methods for EMFs of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure(10Hz to 400 kHz)
- 13 IEC 61786(1998) : Measurement of low frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings-Special requirements for instruments and guidance for measurements(15 Hz to 9 kHz)
- 14 IEC 62311(2007) : Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields(0 Hz ~ 300 GHz)
- 15 EN 50492(2008) : Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations
- 16 IEEE Std C 95.3(2005) : Recommend Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic fields with Respect to Human Exposure to Such Fields(100 kHz ~ 300 GHz)
- 17 IEEE Std C95.3.1(2010) : Recommend Practice for Measurements and computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic fields with Respect to Human Exposure to such Fields(0 Hz to 100 kHz)
- 18 IEEE Std C95.1.3.1(2010) : Recommend Practice for Measurements and computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic fields with Respect to Human Exposure to such Fields(0 Hz to 100 kHz)
- 19 DD ENV 50166-2(1995) : Human exposure to electromagnetic fields - high frequency(10 kHz to 300 GHz)
- 20 DD ENV 50166-1(1995) : Human exposure to electromagnetic fields - low frequency(0 Hz to 10 kHz)
- 21 EN_50400(2006.8.) Basic Standard to demonstrate the compliance of fixed equipment for radio transmission(110MHz-40GHz)
- 22 IEC 62577Ed.1 : Basic standard for the evaluation of human exposure

- to electromagnetic fields from a stand alone broadcast transmitter (30 MHz - 40 GHz)
- 23 EN 50383(2002) : Basic standard for the calculation and measurement of electromagnetic field strength and SAR related to human exposure from radio base stations and fixed terminal stations for wireless telecommunication systems (110 MHz - 40 GHz)
 - 24 EN 50420 (2006.8.) Basic standard for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields from stand alone broadcast transmitter (30 MHz - 40 GHz)
 - 25 ICNIRP STATEMENT RELATED TO THE USE OF SECURITY AND SIMILAR DEVICES UTILIZING ELECTROMAGNETIC FIELDS, ICNIRP, Health Physics, Volume 87, Number 2, August 2004.
 - 26 Choi D. et al, "Investigating the effect of the electromagnetic field from a mobile phone on the hearing aid", Bioelectromagnetics Society 32nd Annual Meeting, 2010. 6.
 - 27 A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J.D. Joannopoulos, P. Fisher, M. Soljacic, Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances, Science 317, 83, 2007.
 - 28 Shinohara, N., T. Mitani, and H. Matsumoto, Development of High Power Rectenna for Ground Applications of Microwave Power Transmission, International Symposium on Radio System and Space Plasma, Bulgaria, Proceedings CD-ROM, Sep. 2-4, 2007.
 - 29 FCC KDB 680106 D01 RF Exposure Wireless Charging Apps v01 (<http://fjallfoss.fcc.gov/kdb/GetAttachment.html?id=31403>)
 - 30 Findlay R P and Dimbylow P J 2005 Effects of posture on FDTD calculations of specific absorption rate in a voxel model of the human body Phys. Med. Biol. 50 3825-35
 - 31 Dimbylow P and Bolch W 2007 Whole-body averaged SAR from 50 MHz to 4 GHz in the University of Florida child voxel phantoms Phys. Med. Biol. 52 6639-49
 - 32 Hirata A, Ito N, Fujiwara O, Nagaoka T and Watanabe S 2008 Conservative estimation of whole-body-averaged SARs in infants with homogeneous and simple-shaped phantom in the GHz region Phys. Med. Biol. 53 7215-23
 - 33 Nagaoka T and Watanabe S 2008 Postured voxel-based human models for electromagnetic dosimetry Phys. Med. Biol. 53 7047-61
 - 34 Nagaoka T, Kunieda E and Watanabe S 2008 Proportion-corrected scaled voxel models for Japanese children and their application to the numerical dosimetry of specific absorption rate for frequencies from 30 MHz to 3 GHz Phys. Med. Biol. 53 6695-711
 - 35 Conil E, Hadjem A, Lacroux F, Wong M F and Wiart J 2008 Variability analysis of SAR from 20 MHz to 2.4 GHz for different adult and child models using finite-difference time-domain Phys. Med. Biol. 53 1511-1525
 - 36 Hirata A, Ito N, Fujiwara O, Nagaoka T and Watanabe S 2009 Influence of electromagnetic polarization on the whole-body averaged SAR in children for plane-wave exposures Phys. Med. Biol. 54 41-8
 - 37 Findlay R P, Lee A-K and Dimbylow P J 2009 FDTD calculations of SAR for child voxel models in different postures between 10 MHz and 3 GHz Radiat. Prot. Dosim. 135 (4) 226-31
 - 38 Lee A-K, Byun J-K, Park J-S, Choi H-D and Yun J-H 2009 Development of 7-year-old Korean child model for computational dosimetry ETRI J. 31, 237 - 9
 - 39 Bakker J F, Paulides M M, Christ A, Kuster N and Rhoon G C van 2011 Assessment of induced SAR in children exposed to electromagnetic plane waves between 10 MHz and 5.6 GHz Phys. Med. Biol. 56 3115-3130
 - 40 Lee A-K, Choi H-D 2012 Determining the influence of Korean

population variation on whole-body average SAR Phys. Med. Biol. 57
2709-2725