

미래전파 환경 변화에 따른 전자파 인체보호 연구

2018. 12.



국립전파연구원

National Radio Research Agency

제 출 문

본 보고서를 「미래전파 환경 변화에 따른 전자파 인체보호 연구」 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2018. 12. 31.

연구책임자 : 김 기 회(전파환경안전과 전자파안전담당)

연구 원 : 최 동 근(전파환경안전과 전자파안전담당)

장 주 동(전파환경안전과 전자파안전담당)

정 승 준(전파환경안전과 전자파안전담당)

장 은 경(전파환경안전과 전자파안전담당)

요 약 문

최근, 우리나라는 4차 산업혁명 사회에서 선도적인 역할 수행을 위해 언제 어디서 누구와도 빠르고 쉽게 빅데이터를 주고받을 수 있는 5G 이동통신 서비스 환경 구축에 많은 노력을 해왔으며, 2019년 3월 상용화를 앞두고 있다. 그러나 5G 이동통신 기술은 기존의 4G의 이동통신 기술보다 주파수 대역이 높고, 동시에 여러 방향의 전자파를 전송할 수 있는 빔포밍 기술이 포함되어 있다. 이러한 기술은 전자파가 특정지점에서 집중적으로 노출되거나 4G, 5G 서비스가 동시에 인체에 노출되는 등 전자파 노출 환경변화가 일어날 수 있다. 본 보고서에서는 전자파인체보호 연구를 통해 이러한 전파환경 변화를 반영하여 5G 이동통신 무선설비에 대한 전자파 측정방법을 마련하였다.

3.5 GHz 대역의 5G 단말기는 기존의 전자파흡수율 측정방법을 적용할 수 있으나, 28 GHz 주파수 대역을 사용하는 휴대전화 기기의 전자파 에너지는 대부분 인체의 표면에 흡수되므로 단위면적에 흡수되는 에너지 물리량인 전력밀도로 평가되어야한다. 본 연구에서는 28 GHz 주파수 대역의 휴대전화 신호원을 설정하고 수치해석 분석기법과 측정분석을 통해 전력밀도를 평가하는 방법을 마련하였다. 또한 빔포밍 기술이 적용된 무선기지국과 펄스형 RF 신호를 갖는 무선국에 대해서도 전자파강도 측정방법을 마련하여 고시에 반영하였다.

우리원은 '15년부터 전자파흡수율 측정 대상기기의 시험시 불필요한 절차를 분석하여 시험비용과 시간을 간소화하는 등 규제완화를 위한 연구를 진행해 오고 있다. 올해는 고속 전자파흡수율 측정시스템의 신뢰도를 높여 전자파흡수율에 활용할 수 있도록 측정시스템의 불확정도 개선 방법을 검토하고 방안을 제시하였다. 또한 우리원에서는 전자파 인체영향에 관한 정보를 일반인이 이해하기 쉽도록 작성하여 국민과 소통하는 등 노력하고 있으나, 일부 언론보도에서 보도하는 전자파 유해성에 대한 잘못된 정보의 파급효과로 인하여 국민의 불안감은 커지고 있다. 일부 업체는 이를 상업적으로 악용하여 전자파 차단제품 구매를 유도하고 이득을 취하고 있어, 우리원은 이러한 거짓·과장

광고를 통해 전자과 차단제품의 구매를 유도하는 업체들로부터 소비자를 보호하기 위하여 전자과 차단제품 광고 내용을 모니터링하고 실제 차단효과를 검증하여 법적인 조치를 하는 등 소비자가 잘못된 정보에 현혹되지 않도록 다양한 노력을 기울이고 있다.

목 차

제1장 서론	1
제2장 5G 휴대전화의 전력밀도 측정방법 연구	3
제1절 개요	3
제2절 5G 휴대전화의 전자파 인체노출량 평가방법 마련 시 고려사항	4
제3절 5G 휴대전화의 전력밀도 측정방법의 주요내용	15
제3장 5G 기지국의 전자파 강도 측정방법 연구	21
제1절 개요	21
제2절 5G 기지국의 전자파강도 측정방법의 주요 개정 내용	22
제4장 RF 펄스형 신호를 갖는 무선국의 전자파강도 측정방법 연구	28
제1절 개요	28
제2절 측정방법(안)의 주요 개정 내용	28
제3절 측정방법(안)에 대한 검증 측정	30
제5장 전자파 관련 제품 모니터링 및 거짓 광고 법적 제재 추진	36
제1절 개요	36
제2절 전자파 차단제품 광고현황 및 제품선정	37
제3절 전자파 차단제품 성능검증	40
제4절 결론 및 향후계획	52
제6장 고속 SAR 불확정도 개선방안 연구	53
제1절 개요	53
제2절 고속 SAR 측정시스템의 국내·외 표준문서	53
제3절 시스템별 불확정도 인지 비교 및 불확정도 평가표 개선방안	57
제4절 향후계획	66
제7장 맺음말	67
참고문헌	69

표 목 차

[표 2-1] 원거리장 영역의 최소 이격거리의 범위	16
[표 3-1] 5G 기지국 시제품의 제원 정보	25
[표 3-2] 시간 영역에서의 전기장강도 측정 결과	26
[표 3-3] 복조 영역에서의 전기장강도 측정 결과	27
[표 4-1] 안테나 수직 지향각(θ)과 주엽빔 도달거리(B)에 따른 측정지점 및 측정간격 범위	29
[표 4-2] 최댓값 노출 지점(390 m 지점, 수평)에서의 평균 시간별 전자파강도 최댓값 및 평균값(군산 해상 고출력 무선국)	35
[표 4-3] 최댓값 노출 지점(260 m 지점, 수평)에서의 평균 시간별 전자파강도 최댓값 및 평균값(완도 해상 고출력 무선국)	35
[표 5-1] 선정된 전자파 차단제품 광고 현황	39
[표 5-2] 공유기 전기장 측정결과	40
[표 5-3] 공유기 인터넷 속도 측정결과	41
[표 5-4] 콘센트 필터 전자파 차단성능 측정결과	42
[표 5-5] 임부복 전자파 차단성능 측정결과	43
[표 5-6] 러닝셔츠 전자파 차단성능 측정결과	44
[표 5-7] 수맥패드 전자파 차단성능 측정결과	46
[표 5-8] 담요 전자파 차단성능 측정결과	47
[표 5-9] 텐트 전자파 차단성능 측정결과	48
[표 5-10] 공기청정기 전자파 차단성능 측정결과	49
[표 5-11] 스티커 전자파 차단성능 측정결과	50
[표 5-12] 전자파인체보호기준	51
[표 6-1] 제조사에서 제시하고 있는 고속 SAR 시스템 불확정도(1)	54
[표 6-2] 제조사에서 제시하고 있는 고속 SAR 시스템 불확정도(2)	55
[표 6-3] A사의 측정시스템의 불확정도 인자	56

[표 6-4] B,C사의 측정시스템의 불확정도 인자	57
[표 6-5] B,C사의 측정시스템의 Device holder의 불확정도 인자 ·	58
[표 6-6] 국내 전자파흡수율 측정기준의 Device holder 불확정도 기준 ·	59
[표 6-7] 국내 전자파흡수율 측정기준 불확정도 평가표	61
[표 6-8] 고속 SAR 측정시스템 임시표준문서(IEC 63151 PAS) 불확정도 ·	63
[표 6-9] 고속 SAR 측정시스템 불확정도 평가표(안)	64

그림 목 차

[그림 2-1] 4G와 5G 기지국의 서비스 방식 비교	4
[그림 2-2] 5G 시제품의 전자파 인체노출 시나리오(빔포밍 고려)	6
[그림 2-3] 28 GHz 대역의 설계된 안테나들	8
[그림 2-4] 안테나들의 거리별 임피던스 특성 비교	8
[그림 2-5] 1×4 안테나의 거리별 전력밀도 시뮬레이션 및 계산 결과 비교	9
[그림 2-6] 1×4 배열 패치 안테나 및 다이폴 안테나	9
[그림 2-7] 28 GHz 패치 안테나의 이격거리별 시뮬레이션 계산 결과	10
[그림 2-8] 28 GHz 다이폴 안테나의 이격거리별 시뮬레이션 계산 결과	10
[그림 2-9] 28 GHz 혼 안테나의 이격거리별 시뮬레이션 계산 결과	11
[그림 2-10] 프로브 팁에 의한 전자파 분포 특성	12
[그림 2-11] 28 GHz 패치 안테나의 이격거리별 전력밀도 특성	13
[그림 2-12] 28 GHz 혼 안테나의 이격거리별 전력밀도 특성	13
[그림 2-13] 28 GHz 1×4 배열 패치 안테나의 측정 모습	14
[그림 2-14] 면적 및 지점선별 전력밀도 외삽 방법 조건	15
[그림 2-15] 측정방법의 주요 구성	15
[그림 2-16] 머리 전력밀도 측정시평가표면의 이격거리 설정 예시	17
[그림 2-17] 오른쪽 SAM 모의인체에 대한 최소 이격거리 설정 모습	18
[그림 2-18] 오른쪽과 왼쪽 사용 접촉 조건들을 모두 고려한 최단 거리의 최소 이격거리 설정 모습	19
[그림 2-19] 몸통 전력밀도 측정시 평가표면의 이격거리 설정 예시	20
[그림 2-20] 전력밀도 평균 면적 조건	20
[그림 3-1] 5G 서비스의 요구 조건(출처 : 3GPP TS 38.213)	21
[그림 3-2] 기지국의 전자파강도 측정방법 설정 조건	22
[그림 3-3] 계산안전경계 및 측정시작지점의 개념 변경	23
[그림 3-4] 5G 기지국의 서비스 개념도	24

[그림 3-5] 5G 기지국의 측정환경 모습	25
[그림 3-6] 시간 영역 및 복조 영역에서의 측정	26
[그림 4-1] 안테나 수직 지향각()에 따른 측정지점	29
[그림 4-2] 고출력 무선국의 측정위치	30
[그림 4-3] 완도 해상 고출력 무선국의 측정지점 및 측정방향	31
[그림 4-4] 군산 해상 고출력 무선국의 측정지점 및 측정방향	31
[그림 4-5] 완도 : 고출력 무선국의 거리별 전자파강도 세기 변화(최댓값)	32
[그림 4-6] 완도 : 고출력 무선국의 거리별 전자파강도 세기 변화(평균값)	33
[그림 4-7] 군산 : 고출력 무선국의 거리별 전자파강도 세기 변화(최댓값)	33
[그림 4-8] 군산 : 고출력 무선국의 거리별 전자파강도 세기 변화(평균값)	34
[그림 4-9] 군산 기상 고출력 무선국의 측정 모습	35
[그림 4-10] 무안 항공 고출력 무선국의 측정 모습	36
[그림 5-1] 공정거래위원회와 업무 협력 체계도	39
[그림 5-2] 임산부, 신생아를 대상으로 한 제품 광고	39
[그림 5-3] 전자파 측정결과 등을 이용한 광고	40
[그림 5-4] 공유기 안테나 커버 전자파 차단성능 측정방법	42
[그림 5-5] 콘센트 필터 전자파 차단성능 측정방법	44
[그림 5-6] 임부복 전자파 차단성능 측정방법	46
[그림 5-7] 러닝셔츠 전자파 차단성능 측정방법	47
[그림 5-8] 수맥패드 전자파 차단성능 측정방법	48
[그림 5-9] 담요 전자파 차단성능 측정방법	50
[그림 5-10] 텐트 전자파 차단성능 측정방법	51
[그림 5-11] 공기청정기 전자파 차단성능 측정방법	53
[그림 5-12] 스티커 전자파 차단성능 측정방법	54
[그림 6-1] 국제표준에서 논의되고 있는 부착형태의 Device holder	64

제1장 서론

이동통신 기술의 발달로 일상 생활에서 전파의 이용이 확대되면서 우리의 생활도 보다 편리해지고 있으나, 이로부터 발생하는 전자파의 인체영향 우려도 증가하고 있다. 특히 2019년 상용화를 앞두고 있는 5G 통신서비스로 인한 전자파 인체영향에 대한 관심도 증가하고 있다. 우리나라를 비롯한 미국, 유럽에서는 상용화 이전에 5G 이동통신 무선설비에 대한 전자파 인체노출량 평가방법을 마련하기 위한 노력을 기울이고 있다. 5G는 기존의 이동통신 기술보다 훨씬 높은 주파수를 사용하기 때문에 전자파의 인체흡수 특성을 반영한 전력밀도로 평가해야하나 국제 표준에서도 아직까지 이에 대한 전자파 평가방법이 마련되어 있지 않기 때문이다.

본 보고서에는 상용화 예정인 5G 이동통신 무선기기의 전자파 인체보호기준 적합 여부를 확인할 수 있는 평가방법 도출을 위한 일련의 연구 결과를 기술하였다. 5G 이동통신 기술이 적용될 휴대용 이동통신기기에 대해서는 인체 근접거리에서 전력밀도를 평가하는 방법을 도출하였다. 전력밀도를 평가하기 위해 현재 전자파흡수를 측정용으로 사용하는 프로브를 개선하여 측정에 활용하였으며, 수치해석으로 평가한 이론적 결과와 비교하여 검증함으로써 신뢰성을 확보하였다.

5G 기지국의 전자파 평가에 대해서는 새롭게 적용되는 빔포밍 기술의 전자파 인체노출 환경을 분석하여 기지국의 전자파 강도 측정방법을 마련하였다. 복잡 다양한 5G 무선국의 전자파 인체노출 환경을 고려하여 새롭게 제안한 '기준신호를 이용한 측정방법'은 5G를 준비하고 있는 국가들로부터 많은 관심을 보이고 있다.

'17년 전파법 시행령의 개정으로 전자파강도 보고대상 무선국으로 새롭게 포함된 탐지용 무선국은 펄스 반복주기, 펄스폭, 대역폭, 안테나 회전수, 듀티 사이클 등 신호의 특성을 고려하여 전자파 측정방법을 마련하였다. 특히 펄스형 무선국은 회절과 반사특성이 낮아 가시거리 상의 측정 위치 선정하고 침투 전자파와 시간평균으로 평가가 필요하며, 시간평균으로 측정할 때 국제기준에서 정하고 있는 6분 이상의 충분한 시간 확보가 중요하다.

일부 업체는 일반 국민을 대상으로 전자파 유해성에 대한 잘못된 정보와 불안감을 상업적으로 이용하여 효과가 없는 전자파 차단제품을 판매하고

있다. 제5장에서는 시중에 유통 중인 전자파 차단제품을 조사하고 전자파 차단효과를 검증 결과를 기술하였으며, 이를 근거로 거짓·과장 광고로 의심되는 제품에 대해서는 공정거래위원회와의 업무 협력을 통해 법적 제재를 추진하였다.

통신기술과 주파수 이용의 확대로 전자파흡수율 측정에 소요되는 시간도 비례하여 증가한다. 이러한 소요 비용과 시간을 단축하기 위해 개발된 고속 전자파흡수율 시스템과 측정방법은 신뢰성의 한계로 인증시험에 적용되지 못하고 있다. 제6장에서는 고속 전자파흡수율 측정시스템을 이용한 측정방법의 불확정도 개선 방안을 도출하여 전자파흡수율 인증시험에 활용될 수 있도록 하였다.

제2장 5G 휴대전화의 전력밀도 측정방법 연구

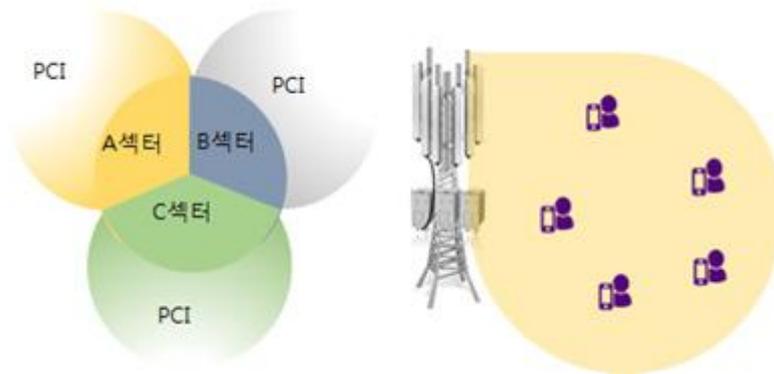
제1절 개요

'19년 3월에 5G 상용화가 계획됨에 따라 기지국, 휴대전화 등 5G 기술이 적용된 제품이 출시될 예정이다. 그러나 5G 기술이 적용될 기기는 빔포밍, 10 GHz 이상의 주파수 대역 사용 등으로 기존의 전자파 인체노출량 평가방법을 적용하기는 어려우며, 국제기구인 국제전기기술위원회(IEC)에서도 표준 측정방법을 마련 중에 있다. 본 연구에서는 5G 기술이 적용될 기지국과 단말기에 대한 전자파 인체노출량 평가에 관한 연구 결과를 다루고 있으며, 이를 제도화하여 새로운 무선통신기술 적용기기의 전자파로부터 인체보호에 대비하고자 한다.

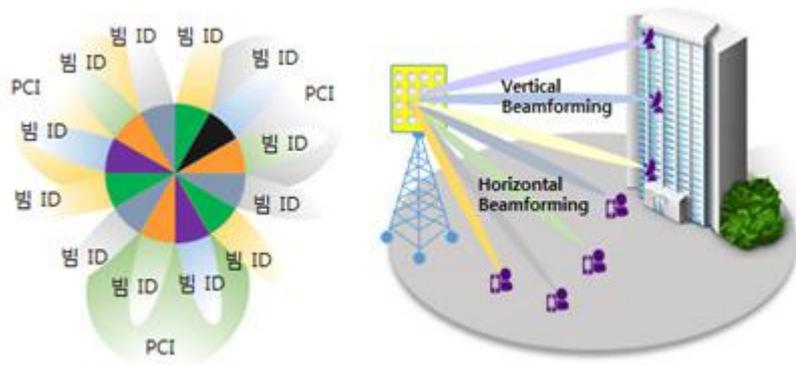
현재 「전기통신사업용 무선설비의 기술기준(국립전파연구원고시 제 2018-17호, 2018.8.17.)」 고시 개정이 완료되어 5G 이동통신 무선설비 기술기준이 신설되었다. 또한, 「방송통신기자재등의 적합성평가에 관한 고시(국립전파연구원고시 제2018-17호, 2018.8.17.)」가 개정 완료되어 5G NR 이동통신용 무선설비(3.5 GHz, 28 GHz 대역)가 적합성평가 대상기기로 포함되었다. 그리고 5G 휴대전화와 기지국에서 발생하는 전자파가 인체에 미치는 영향을 고려하여 전자파강도 및 전자파흡수율 측정대상 기자재 고시에 포함하여 개정 작업 중에 있다.

5G 서비스 기술은 4G 서비스 기술과는 달리 3.5 GHz와 28 GHz 주파수 대역을 사용하며, 특히 28 GHz는 고주파수 대역이며, 빔포밍이라는 빔 특성도 추가된다. 다시 말해, 5G 서비스 기술은 그림 2-1(a)와 같이 서비스 영역의 사용자들과의 데이터 통신을 위해 전 영역을 한꺼번에 모니터링 하는 4G 서비스 기술과 달리 그림 2-1(b)와 같이 특정 사용자를 찾기 위하여 특정 지점·공간으로 전자파를 집중시킬 수 있는 빔 포밍 기술을 이용한다. 휴대전화인 경우, 3.5 GHz 대역은 기존의 SAR(전자파흡수율)로 평가가 가능하지만 28 GHz 대역은 새로운 물리량인 전력밀도로 평가해야 한다. 그러나 근거리장 영역에서 전력밀도를 정확하게 측정할 수 있는 기술은 아직 확보되지 않았으며, 특히, 근거리장 영역에서는 전기장강도 측정을 통하여 전력밀도로 환산하는 것은 현재로서는 불가능하다. 따라서 근거리장 영역에서의 측정기술을 확보하거나 새로운 평가방법이 요구된다. 현재 특정

업체에서 전력밀도 측정시스템을 상용화하여 판매를 하고는 있으나, 이 시스템은 불확정도를 고려한 신뢰성 검증이 필요하다.



(a) 4G 기지국의 서비스 방식



(b) 5G 기지국의 서비스 방식

[그림 2-1] 4G와 5G 기지국의 서비스 방식 비교

제2절 5G 휴대전화의 전자파 인체노출량 평가방법 고려사항

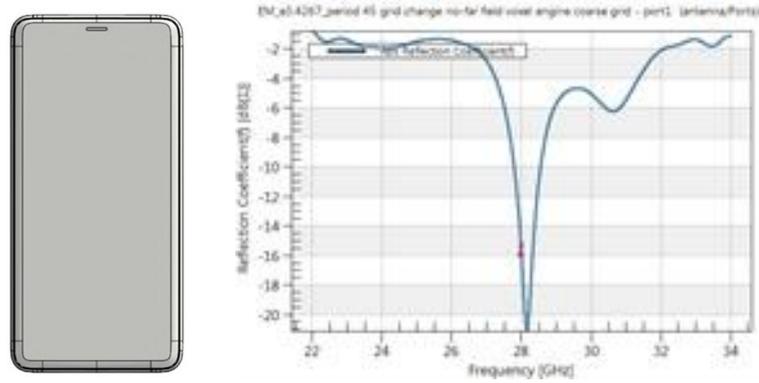
1. 5G 전자파 인체노출 특성에 대한 고려사항

5G 휴대전화의 전자파 인체노출량 평가방법시 고려해야 될 특성으로는 배열 안테나 기술을 이용한 빔포밍 기술, 고주파수 대역(28 GHz) 주파수 이용에 따른 인체영향 특성 변화 등으로 정의할 수 있다. 실제 5G 기술이 적용될 휴대전화는 빔포밍 기술을 이용하여 다양한 전자파 인체노출 시나리오가 가능하며, 고주파수 대역(28 GHz)의 전자파를 이용하기 때문에 근거리장과 원거리장 영역에 대한 기준을 정하는 것이 중요하다. 또한, 5G 휴대전화에 적용될 가능성이 높은 배열 안테나의 근거리장 영역의 전자파 분

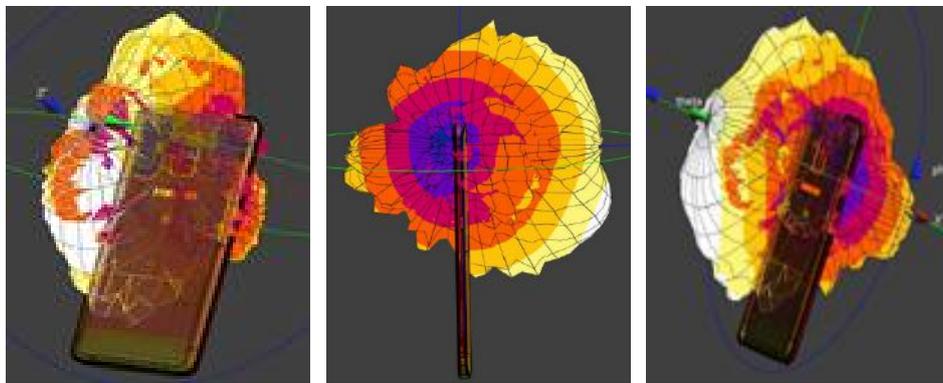
포 특성의 확인이 필요하다. 그리고 향후 근거리장 영역에서의 외삽법을 이용한 계산 알고리즘을 사용할 때 계산 면적 및 지점에 따른 오차 범위도 확인할 필요가 있다. 이밖에도 머리 및 몸통 조건에서의 평가지점에 대한 최소 이격거리를 결정할지도 매우 중요한 요소가 된다. 이러한 요소들에 대한 검증은 시뮬레이션 및 측정을 통하여 검증하였고 이를 기반으로 5G 휴대전화의 전력밀도 측정방법을 마련하였다.

2. 빔포밍 기술을 이용하는 다양한 전자파 노출에 대한 고려

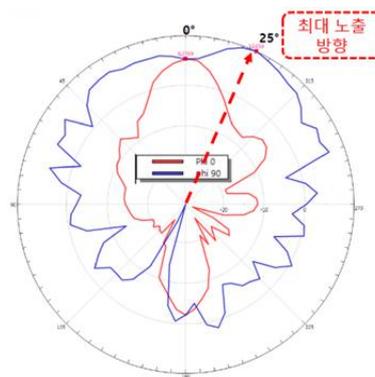
5G 휴대전화는 빔포밍 기술을 이용하여 특정 방향으로 전자파를 집중할 수 있기 때문에 안테나의 배치와 휴대전화의 구조 등 설계에 따라 전자파 인체노출에 대한 방향이 결정될 수 있다. 따라서 다양한 상황을 고려하고 확인하여 전자파가 최대 노출되는 지점을 확인하는 것이 전자파 인체노출량을 평가할 때 중요한 요소가 된다. 향후 이러한 부분들을 고려하여 최대노출 지점을 찾는 방법에 대하여 좀 더 검토하고 연구할 필요가 있다. 그림 2-2(a)는 시뮬레이션을 이용하여 특정 방향으로 전자파가 노출되도록 설계한 5G 시제품을 보여주고 있다. 제작한 시제품은 파장이 짧은 5G 전자파 특성을 고려하여 시제품의 앞면보다는 뒷면에서 전자파의 노출이 더 많이 나오도록 설계되었으며, 최대노출 지점도 실제 상용화될 5G 휴대전화의 전자파 특성을 예측하여 뒷면의 수직 방향이 아니라 25° 기울어진 방향으로 설계되었다. 그림 2-2(b)는 5G 시제품의 전자파 분포 특성을 보여주고 있으며, 그림 2-2(c)는 시제품의 전자파 방사패턴을 확인한 결과로 그림 2-2(b)에서 설계한 바와 같이 방향이 25° 기울어져 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 2-2와 같이 시뮬레이션 또는 측정을 통하여 휴대전화의 전자파 특성을 먼저 확인하는 것은 전자파 인체노출량을 평가 시 측정조건을 줄여 측정시간과 비용을 절감할 수 있는 방법으로 이러한 최대노출 지점을 쉽게 찾는 방법에 대한 연구는 향후 추가로 필요하다.



(a) 5G 시제품 및 반사손실 결과(28 GHz)



(b) 5G 시제품의 전자파 분포 특성 결과



(c) 5G 시제품의 전자파 방사 패턴 결과

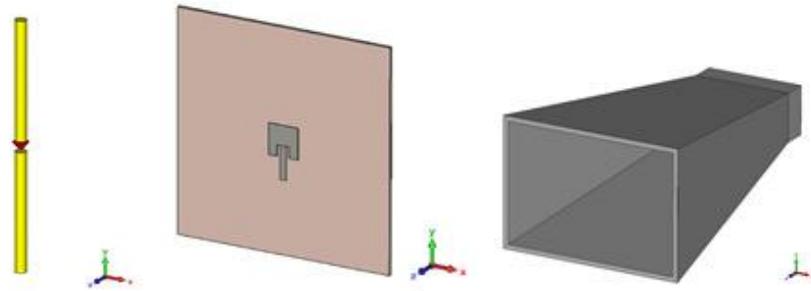
[그림 2-2] 5G 시제품의 전자파 인체노출 시나리오(빔포밍 고려)

3. 근거리장과 원거리장 영역기준 판단

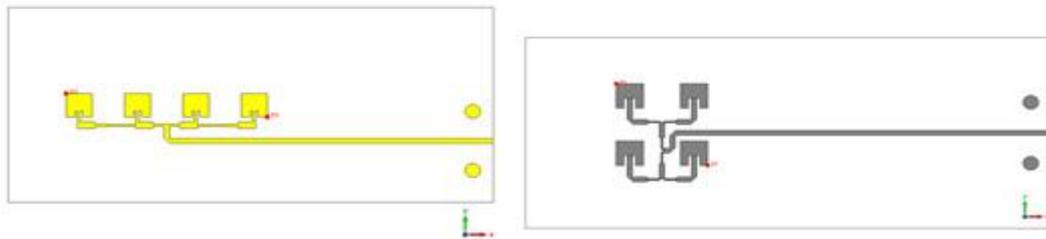
휴대전화의 근거리장 영역에서의 정확한 측정을 위해서는 근거리장과 원거리장 영역을 정확하게 구분하는 것이 중요하다. 5G 휴대전화의 전력밀도 측정방법을 개발하고 있는 IEC에서는 휴대전화에 적용되는 안테나의 크기를 고려하여 근거리장과 원거리장 영역을 구분하는 방법과 원거리장 영역에서의 측정을 통하여 근거리장 영역을 계산하는 방법을 고려하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 IEC에서 고려하고 있는 방법을 일부 준용하였으며, 근거리장과 원거리장 영역의 정확한 구분 기준을 확인하기 위해서 28 GHz 대역의 근거리장과 원거리장 영역에서의 전자파 특성에 대하여 거리별 임피던스 및 전력밀도 시뮬레이션 및 계산을 통해 확인하였다.

가. 28 GHz 안테나들의 거리별 임피던스 특성 시뮬레이션 및 계산 결과

근거리장과 원거리장 영역에서의 임피던스 특성을 확인하기 위하여 그림 2-3과 같이 이상적인 28 GHz 대역의 다이폴 안테나, 싱글 패치 안테나, 혼 안테나, 1×4와 2×2 배열 패치 안테나를 설계하였다. 그리고 근거리장과 원거리장 영역에서 자유공간 임피던스와 25 mW 출력을 가지는 안테나 중심으로부터 거리별로 임피던스 특성을 확인하였다. 그 결과, 그림 2-4와 같이 대략 10 mm 이내에서는 원거리장 영역의 특성이 나타나지 않음을 확인하였다. 25 mW 출력을 가지는 1×4 배열 패치 안테나에 대하여 안테나의 중심점으로부터 거리별로 전력밀도 특성에 대하여 시뮬레이션 및 계산한 결과, 그림 2-5와 같이 대략 6 mm 이내에서는 전자파 분포 특성이 불규칙하게 나타나는 근거리장 영역의 특성을 보였다.

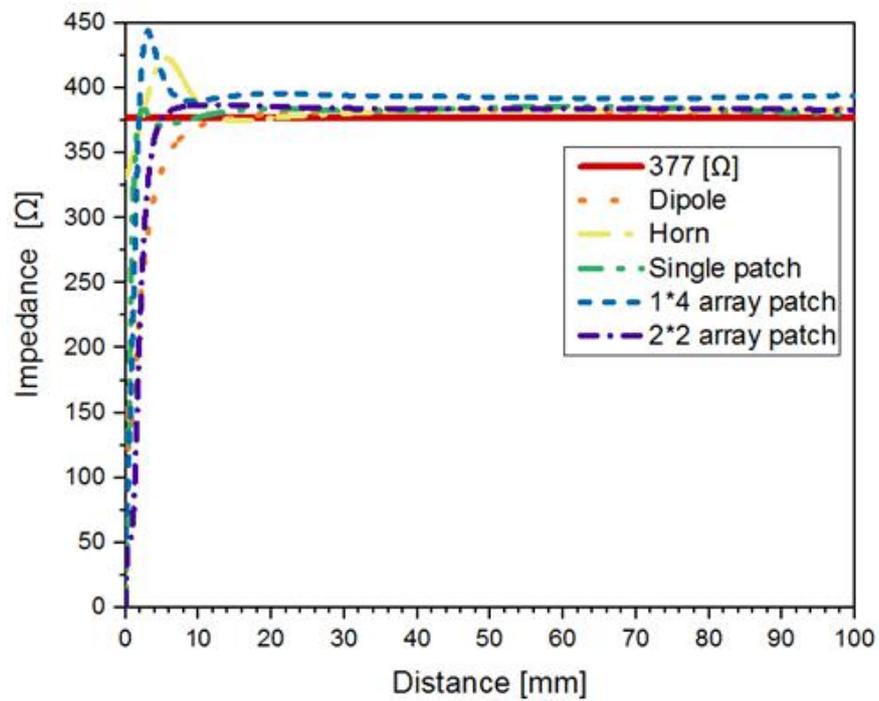


(a) 다이폴 안테나 (b) 싱글 패치 안테나 (c) 혼 안테나

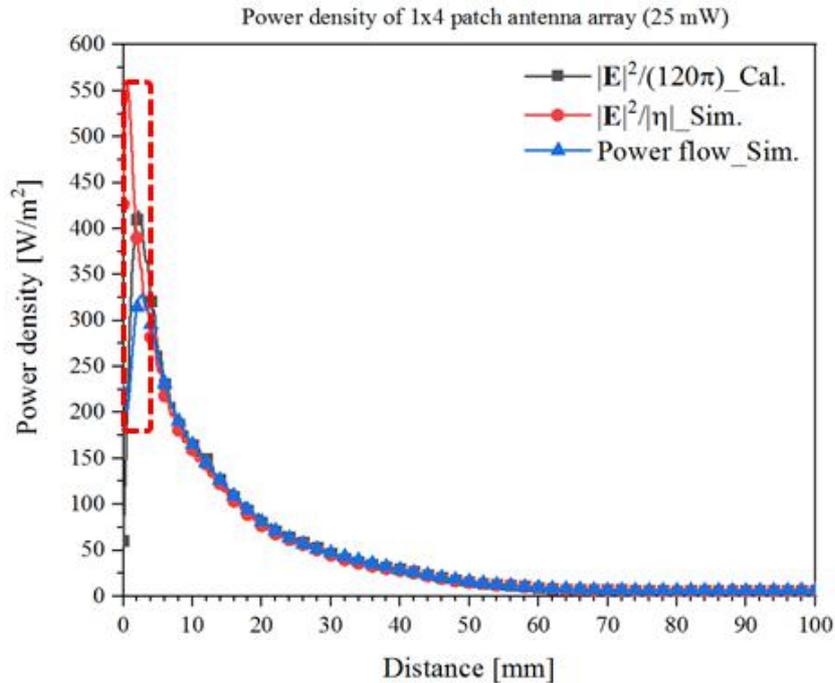


(d) 1×4 배열 패치 안테나 (e) 2×2 배열 패치 안테나

[그림 2-3] 28 GHz 대역의 설계된 안테나들



[그림 2-4] 안테나들의 거리별 임피던스 특성 비교



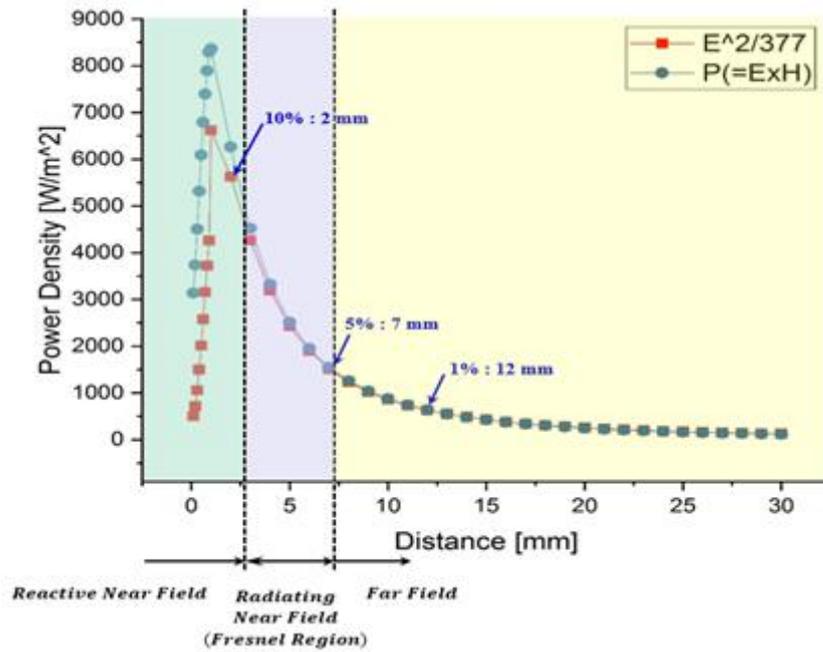
[그림 2-5] 1×4 안테나의 거리별 전력밀도 시뮬레이션 및 계산 결과 비교

나. 28 GHz 안테나의 거리별 전력밀도 특성 시뮬레이션 및 계산 결과

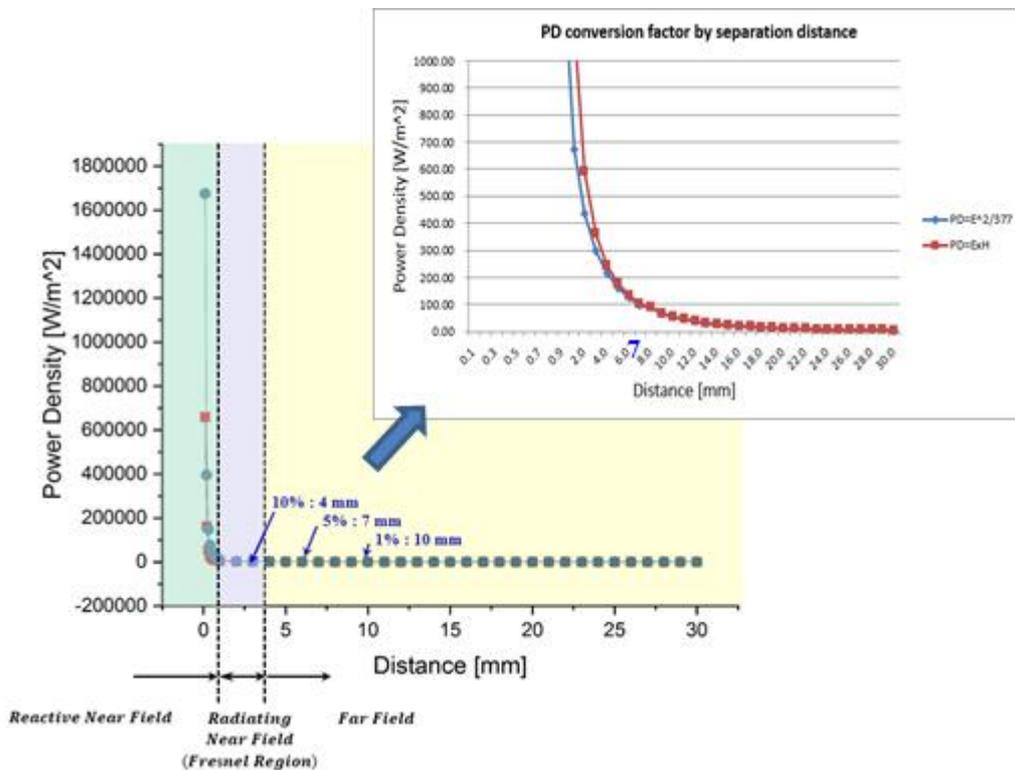
근거리장과 원거리장 영역에서의 전력밀도 특성을 확인하기 위하여 그림 2-6과 같이 28 GHz 대역의 싱글 패치 안테나와 다이폴 안테나를 설계하였다. 전력밀도 특성을 확인하기 위하여 설계된 안테나의 중심점으로부터 0 mm 에서 30 mm 까지 1 mm 간격으로 거리별로 전기장과 자기장을 시뮬레이션 한 다음 전력밀도로 환산하는 계산방법을 이용하였다. 그 결과, 그림 2-7 과 그림 2-8과 같이 6-7 mm 이상의 거리에서는 두 가지의 계산 결과가 모두 일치(약 5% 이내)하여 점점 작아지는 유사한 특성의 경향성을 보였으며, 이 때 전기장을 전력밀도로 환산하는 수식은 $P_D = E^2/377$ 을 이용하였다.



[그림 2-6] 1×4 배열 패치 안테나 및 다이폴 안테나



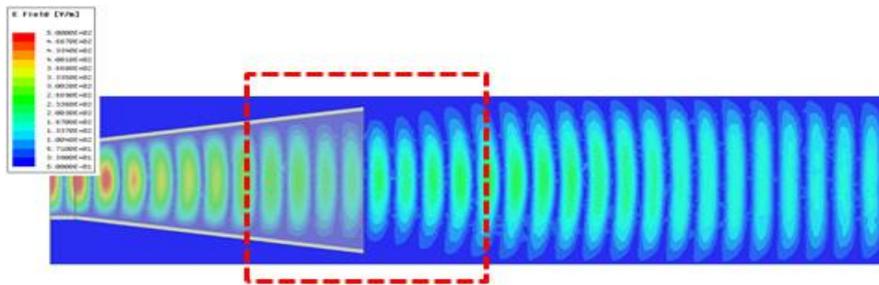
[그림 2-7] 28 GHz 패치 안테나의 이격거리별 시뮬레이션 계산 결과



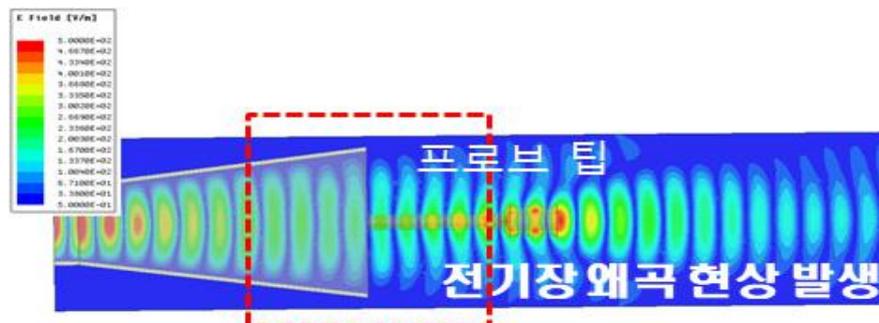
[그림 2-8] 28 GHz 다이폴 안테나의 이격거리별 시뮬레이션 계산 결과

4. 전기장강도 측정용 프로브의 전자파 분포 특성

28 GHz 대역의 고주파수는 파장이 아주 짧은 특성이 있어 전기장강도 측정용 프로브에 영향을 줄 수 있어 시제품으로 제작할 28 GHz 대역의 전기장강도 측정용 프로브를 이용하여 전자파 분포 특성에 대한 시뮬레이션을 하였다. 전자파 발생원은 혼 안테나를 사용하여 25 mW 출력으로 설정하였고 전기장강도 측정용 프로브 팁 유무에 따른 전자파의 분포 특성을 확인하였다. 혼 안테나의 개구면과 프로브 팁과의 이격거리는 0 mm로 설정하였다. 전자파 분포 특성을 확인한 결과, 그림 2-9(a)와 같이 프로브 팁이 없는 경우는 전자파가 균일하게 전파되어 가는 것을 볼 수 있다. 하지만 그림 2-9(b)와 같이 프로브 팁이 없는 경우는 전기장 프로브의 최대 전기장 검출 지점이 전기장 왜곡 현상이 일어나 그림 2-10과 같이 전자파 최대 노출 지점이 0.4 mm 정도 이동됨을 확인하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 향후 전기장강도 측정용 프로브를 교정할 때 이 부분에 대한 측정상의 정확도를 검증하여 불확정도를 개선할 필요가 있다.

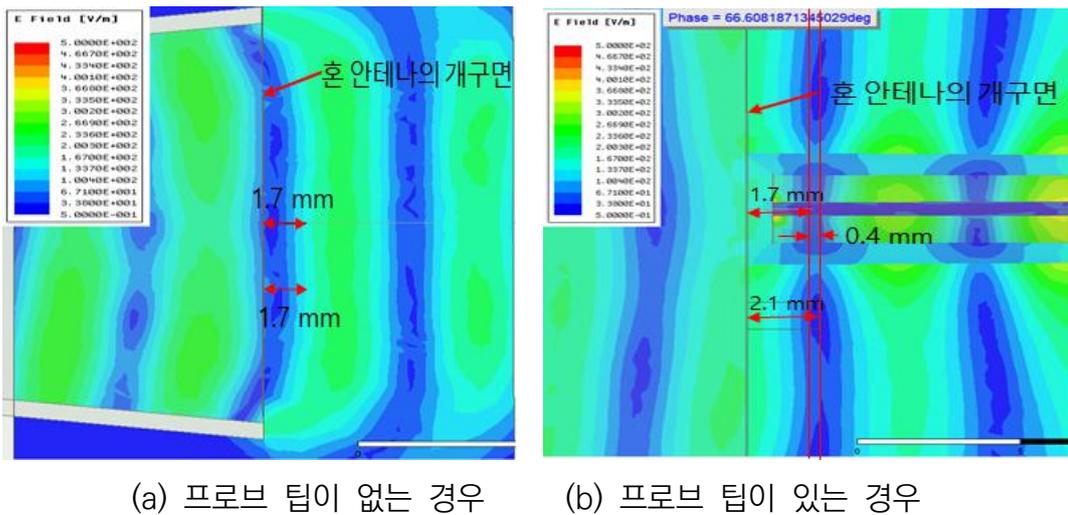


(a) 프로브 팁이 없는 경우



(b) 프로브 팁이 있는 경우

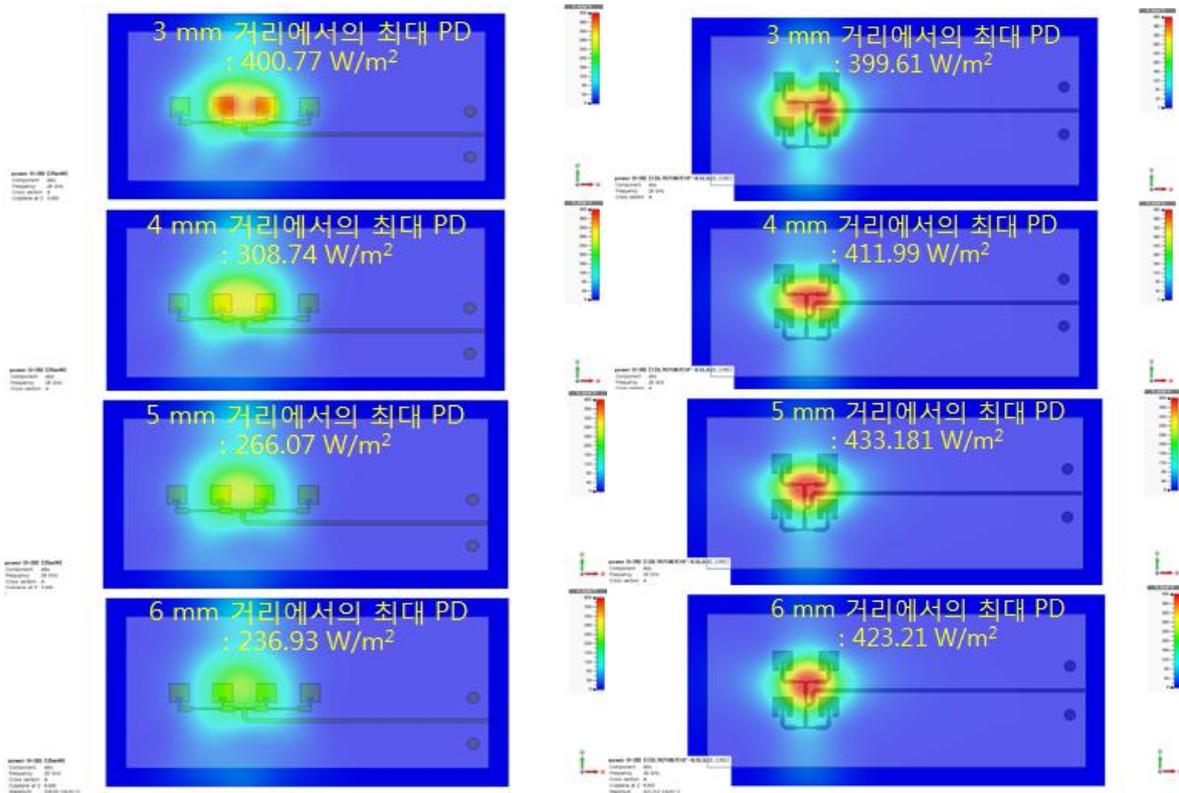
[그림 2-9] 28 GHz 혼 안테나의 이격거리별 시뮬레이션 계산 결과



[그림 2-10] 프로브 팁에 의한 전자파 분포 특성

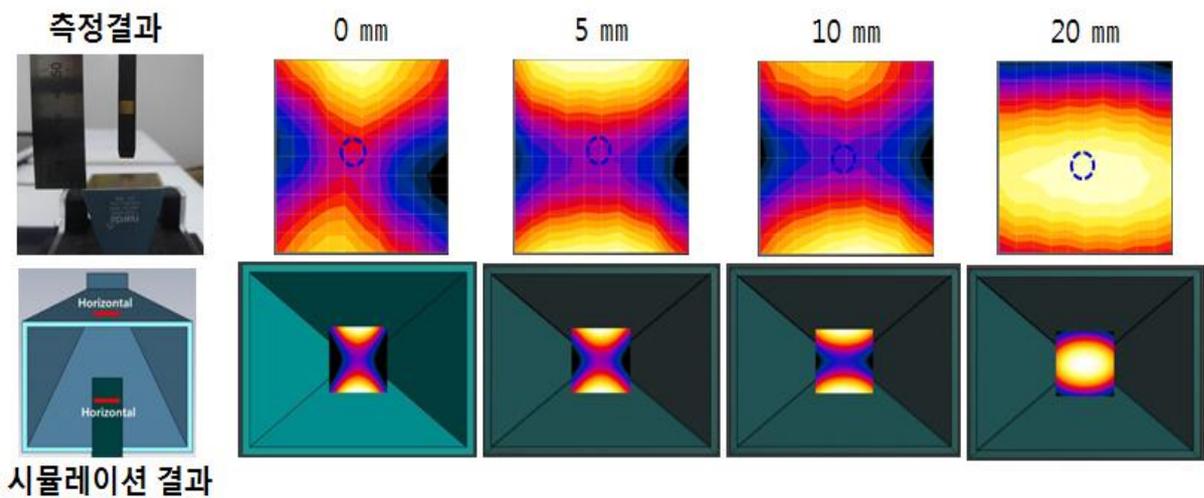
5. 1×4 배열 패치 안테나 및 혼 안테나의 근거리장 영역에서의 전자파 분포 특성

28 GHz 대역의 5G 휴대전화에 적용될 가능성이 높은 안테나는 1×4 배열 패치 안테나이다. 따라서 이 안테나의 전자파 분포 특성을 확인하는 것이 근거리장 영역에서 정확한 측정을 할 수 있는 중요한 요소가 된다. 1×4 배열 패치 안테나에 대하여 거리별 전력밀도 분포 특성에 대하여 시뮬레이션 한 결과, 그림 2-11과 같이 4 mm이하의 거리인 원거리장 영역에서는 전력 밀도의 최댓값 분포가 두 개로 나타났으며 4 mm이상에서는 최댓값 분포가 하나로 나타남을 확인하였다. 그림 2-12에서는 혼 안테나와 도파관 프로브를 이용하여 거리별로 전자파 분포 특성에 대하여 시뮬레이션 및 측정을 하였다. 그 결과, 대략 20 mm 이상에서는 전기장강도 최대 분포 지점이 중심점으로 일관성 있게 나타났으나, 20 mm 이내에서는 최대 분포 지점이 일정한 위치에 나타나지 않았다. 그 이유로는 혼 안테나의 경우, 근거리장 영역에서는 전자파 분포 패턴이 일정하지 않아 최댓값 분포(Hot spot) 영역이 다양한 위치에서 나타나는 것으로 판단된다.



(a) 1×4 배열 패치 안테나(25 mW) (b) 2×2 배열 패치 안테나(25 mW)

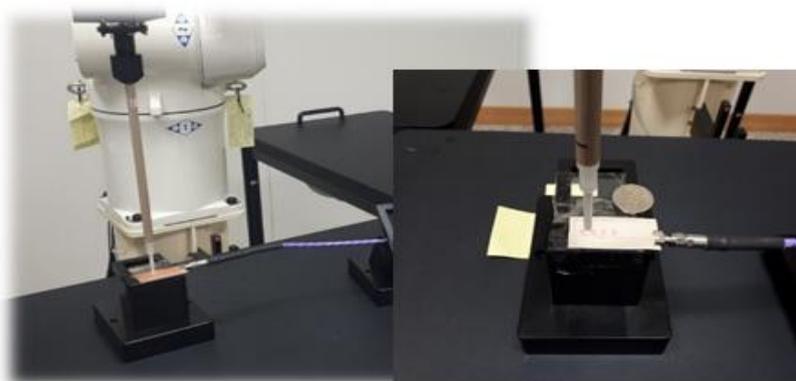
[그림 2-11] 28 GHz 패치 안테나의 이격거리별 전력밀도 특성



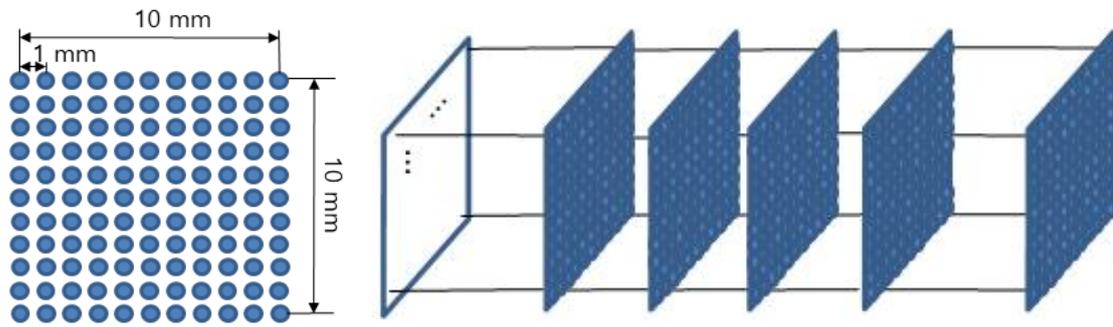
[그림 2-12] 28 GHz 혼 안테나의 이격거리별 전력밀도 특성

6. 면적 및 지점선별 전력밀도 외삽 방법 결과 비교

28 GHz 대역의 근거리장 영역에 대한 평가방법 마련을 위하여 외삽 계산 알고리즘을 적용하는 방법을 검증하였다. 먼저, 원거리장 영역에서 28 GHz 대역의 전기장강도를 측정하기 위한 시스템을 그림 2-13과 같이 구성하였다. 이때 사용한 배열 안테나는 1×4 배열 패치 안테나를 사용하였으며, 입력 신호는 28 GHz의 64 mW의 출력을 설정하였다. 그림 2-14는 각 면적 및 지점선별 외삽 방법을 이용하기 위한 설정 조건들을 보여주고 있으며, 크게 근거리장 영역에서의 평가표면에서 면적과 지점선으로 구분하여 전력밀도 외삽 방법을 비교 검토하였다. 1×4 배열 패치 안테나의 중심점으로부터 2, 4, 6, 10, 20, 30, 40, 50 mm 지점에서 10×10 mm²에 대하여 1 mm 간격으로 전기장강도를 측정하였다. 면적별 외삽 방법은 거리별로 지정된 각 평면(121 지점)의 측정된 전기장강도로부터 평균 전력밀도를 계산한 다음 결정된 근거리장 영역의 평가표면에 대하여 거리에 따른 면적별 외삽을 이용하여 최종 전력밀도를 계산하는 방법이다. 그리고 지점선별 외삽 방법은 거리별로 지정된 각 121 지점에 대하여 지점선별로 측정된 전기장강도로부터 평균 전력밀도를 계산한 다음 결정된 근거리장 영역의 평가표면에 대하여 거리에 따른 121 지점선별로 외삽을 이용하여 최종 전력밀도를 계산하는 방법이다. 두 가지 방법을 적용하여 분석한 결과, 전력밀도 계산 값이 유사하게 나타났으며, 이는 두 가지 방법 중 어떠한 방법을 사용해도 오차가 없는 것을 확인하였다.



[그림 2-13] 28 GHz 1×4 배열 패치 안테나의 측정 모습



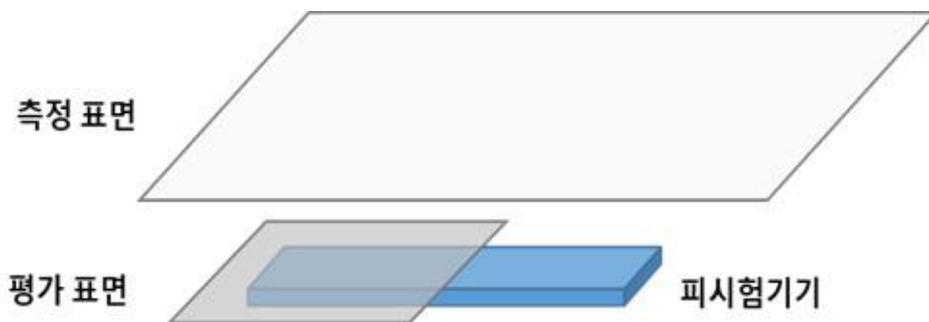
(a) 10 mm² 면적조건에 대한 포인트 수 (b) 면적별 및 지점선별 설정 조건

[그림 2-14] 면적 및 지점선별 전력밀도 외삽 방법 조건

제3절 5G 휴대전화의 전력밀도 측정방법의 주요 내용

1. 측정방법의 주요 개념

5G 휴대전화의 전자파 인체노출량 평가는 그림 2-15와 같이 크게 원거리장 영역에서 측정표면에 해당되는 면적에 대한 측정과 근거리장 영역에서 평가표면에 해당되는 면적에 대하여 외삽 계산 알고리즘을 적용하는 방법으로 나눌 수 있다. 현재 IEC 기술보고서(TR63170) 및 CD(위원회 초안, JWG12) 보고서에서도 동일한 평가개념을 고려하고 있어 본 연구에서는 관련 내용의 일부를 준용하였다.



[그림 2-15] 측정방법의 주요 구성

2. 머리 및 몸통에 대한 최소 이격거리 설정 조건

휴대전화의 전자파 인체노출량 평가시 중요한 요소로는 근거리장과 원거리장 영역에서 최소 이격거리를 설정하는 것이다. IEC 기술보고서 및 CD 보고서에서는 원거리장 영역에 해당되는 측정표면의 최소 이격거리는 휴대전화에 적용되는 안테나의 크기를 고려하여 표 2-1과 같이 기준을 설정하고 있어 본 연구에서는 이 부분은 일부 준용하였다. 이때 표 2-1의 D는 안테나의 최대 대각선 길이를 나타내며, 배열 구조의 안테나는 첫 번째 안테나와 마지막 안테나 사이의 대각선 길이를 나타낸다. 원거리장 영역에서 측정할 때 머리 부분은 피시험기기의 앞면을, 몸통 부분은 피시험기기의 뒷면을 적용하여 평가하도록 규정하였다.

[표 2-1] 원거리장 영역의 최소 이격거리의 범위

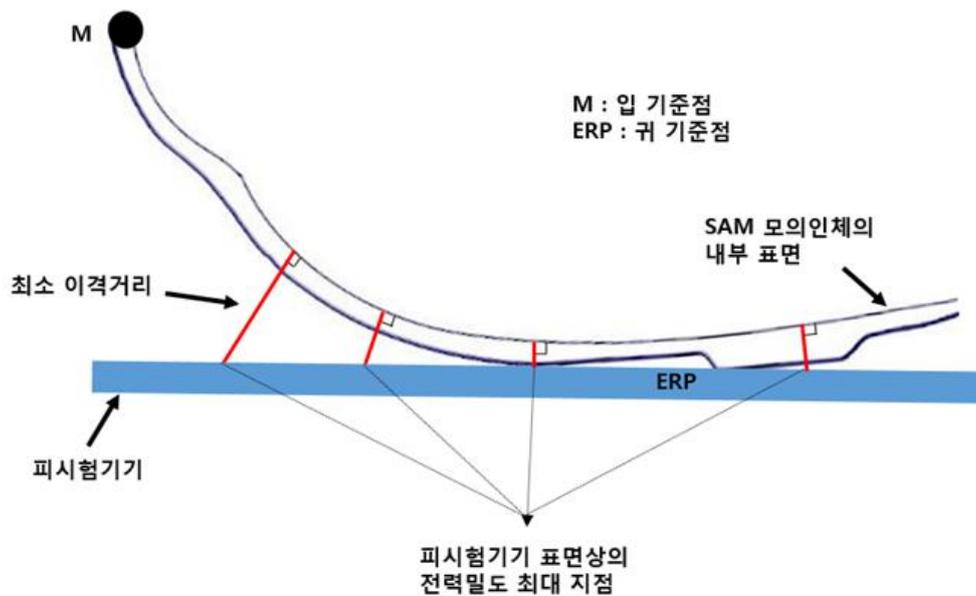
안테나 크기 조건	원거리장 영역의 최소 이격거리
$D < \frac{1}{3}\lambda$	1.6λ 이하
$\frac{1}{3}\lambda < D < 2.5\lambda$	5D 이하
$D > 2.5\lambda$	$\frac{2D^2}{\lambda}$ 이하

그러나 IEC 표준에는 평가표면에서의 전력밀도 평가시 최소 이격거리에 대한 설정 기준은 제시하고 있지 않아 새로운 평가 지점에 대한 최소 이격거리 기준을 설정이 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 머리에 해당되는 측정조건에서는 SAM 모의인체(전자파흡수율 측정기준 고시 또는 IEC 62209)와 피시험기기와의 접촉 조건을 고려하여 설정하였으며, 몸통의 경우는 최소 이격거리를 의도적 사용 조건을 고려하여 설정하였다.

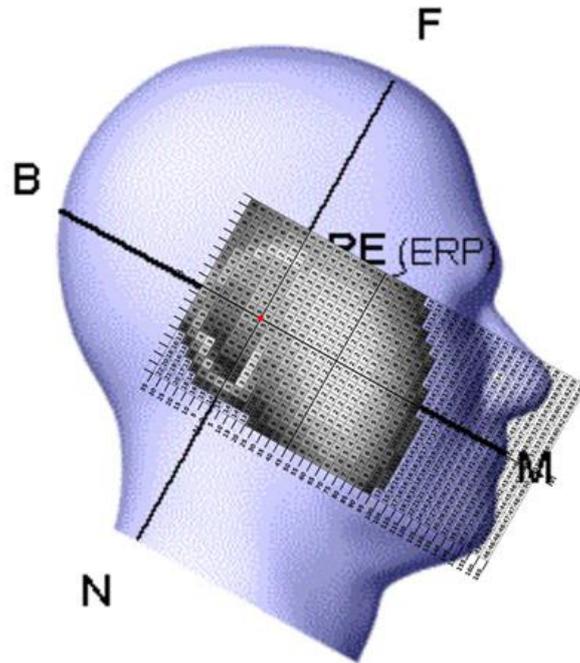
가. 머리 전력밀도 측정시 평가표면의 이격거리 설정 조건

그림 2-16은 머리 전력밀도 측정시 평가표면의 이격거리 설정 예시를 보여주고 있다. 여기서, 최소 이격거리는 SAM 모의인체의 내부 표면과 피시험기기 표

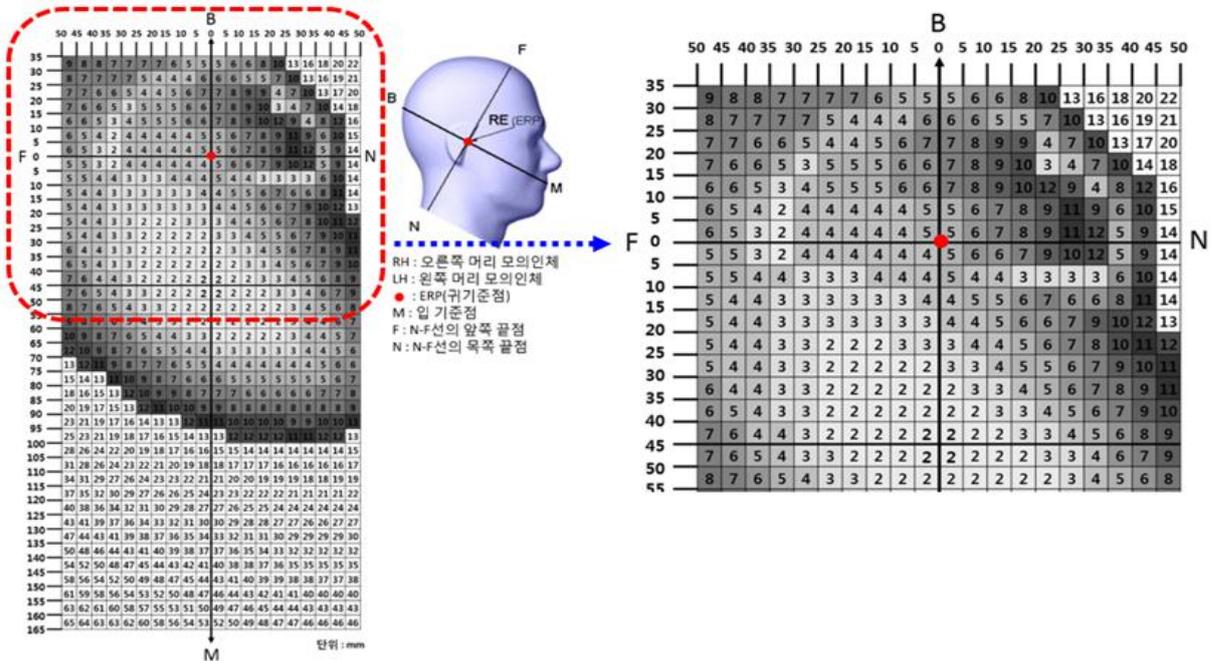
면상의 전력밀도 최대 지점과의 최단거리를 의미한다. 최소 이격거리에 대한 설정을 위하여 오른쪽 SAM 모의인체에 $100 \times 200 \text{ mm}^2$ 크기의 피시험기기를 평상시에 사용하는 접촉 조건으로 설정하여 최소 이격거리를 그림 2-17(a)와 같이 확인하였다. 피시험기기 표면상의 전력밀도 최대지점과 SAM 모의인체의 내부 표면과의 이격거리를 그림 2-17(b)와 같이 5 mm 간격으로 확인하였다. 그림 2-18은 오른쪽과 왼쪽 사용 접촉 조건을 모두 고려하여 설정한 최적의 최소 이격거리를 보여주고 있으며, 이때 오른쪽과 왼쪽 SAM 모의인체의 내부 표면과 피시험기기 표면상의 전력밀도 최대 지점과의 최단거리를 모두 고려하였다. 그리고 전력밀도의 면적 조건 설정시 최소 이격거리를 정확하게 확인하기 위하여 피시험기기와 최소 이격거리 설정표가 일치하도록 수화부 수평선과 수직 중앙선을 설정하였다.



[그림 2-16] 머리 전력밀도 측정시평가표면의 이격거리 설정 예시

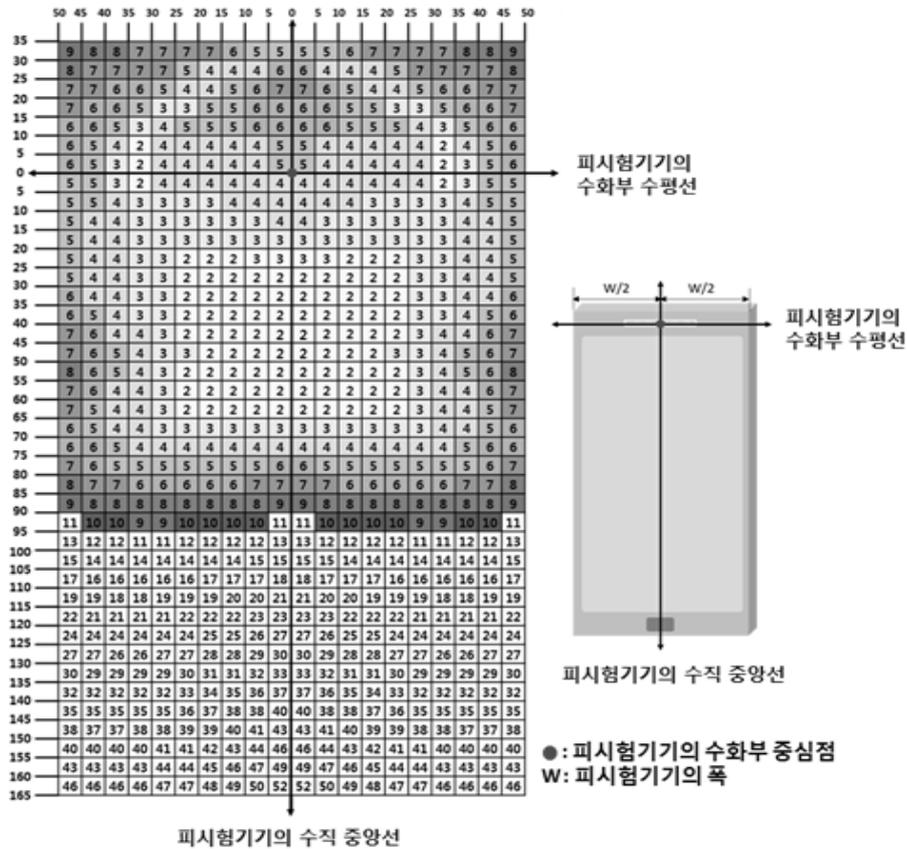


(a) 오른쪽 SAM 팬텀과 피시험기기와의 접촉 조건



(b) 5 mm 간격으로 확인한 최소 이격거리

[그림 2-17] 오른쪽 SAM 모의인체에 대한 최소 이격거리 설정 모습



[그림 2-18] 오른쪽과 왼쪽 사용 접촉 조건들을 모두 고려한 최단 거리의 최소 이격거리 설정 모습

나. 몸통 전력밀도 측정시 평가표면의 이격거리 설정 조건

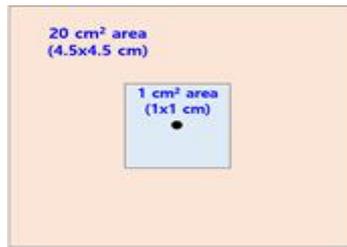
몸통의 전력밀도 평가표면에 대한 최소 이격거리는 크게 의도적 사용 조건과 접촉조건으로 구분하여 설정할 수 있다. 우선, 제조자가 기기 동작 위치와 방향 등에 관해 의도적 사용을 규정한다면 제시된 이격거리로 설정한다. 이는 제조사에서 제공한 사용자 이용 이격거리 지침에 의존하게 된다. 그리고 만약에 의도적 사용이 명시되어 있지 않으면, 피시험기기의 평가표면을 접촉 상태로 설정한다 (그림 2-19).



[그림 2-19] 몸통 전력밀도 측정시 평가표면의 이격거리 설정 예시

다. 전력밀도 평균 면적 조건

전력밀도 평균면적 조건은 전자파인체보호기준에서 규정하고 있는 1 cm^2 , 20 cm^2 를 적용하며, 원형 면적 또는 정사각형 면적으로 설정한다(그림 2-21). 이때 평가표면과 측정표면은 피시험기기의 측정대상 표면과 평행으로 설정한다.

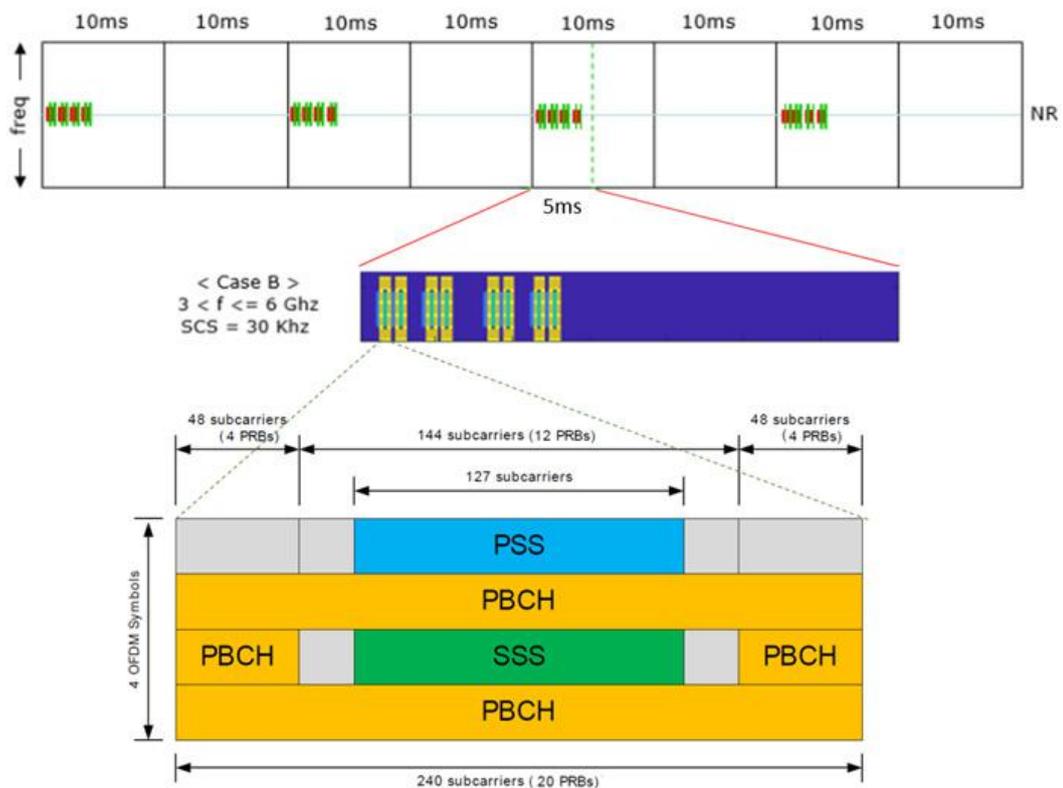


[그림 2-20] 전력밀도 평균 면적 조건

제3장 5G 기지국의 전자파강도 측정방법 연구

제1절 개요

5G 휴대전화와 같이 기지국도 기존의 4G 서비스와 달리 고주파수 대역(28 GHz)과 특정 지점·공간으로 전자파를 집중시킬 수 있는 빔포밍 기술과 3.5 GHz와 28 GHz 2가지 주파수 대역을 사용하기 때문에 전기장강도 또는 전력밀도로 평가하는 전자파 인체노출량 측정방법 마련이 필요하다. 물론 5G 서비스에서 요구하는 규격 또한 그림 3-1과 같이 다양하고 복잡한 구조로서 사용하는 주파수별로 대역폭, 변조, RB(Resource Block), Layer, SCS(Sub Carrier Spacing), Subcarrier, SSB(Synchronization Signal Burst) 주기 등으로 구성되어 있다. 따라서 5G 기지국의 정확한 측정을 위해서는 이러한 사항들이 고려되어야 한다.

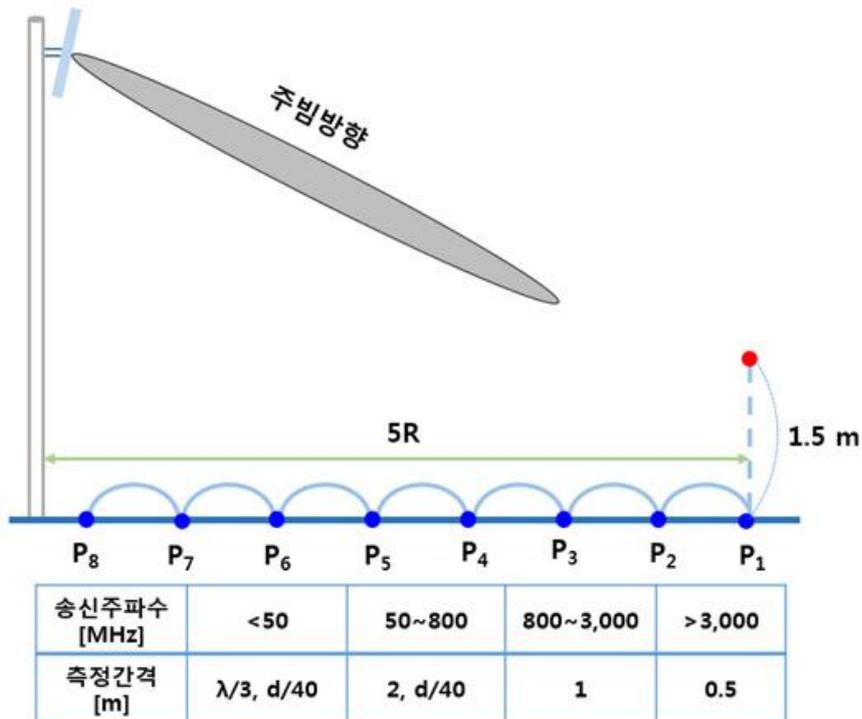


[그림 3-1] 5G 서비스의 요구 조건(출처 : 3GPP TS 38.213)

제2절 5G 기지국의 전자파강도 측정방법의 주요 개정 내용

1. 기존 기지국의 전자파강도 측정방법

전자파강도 측정방법은 먼저 측정시작지점을 찾기 위해 계산안전경계(R)을 구하고 5R이 되는 지점을 측정시작지점으로 결정한다. 그리고 그림 3-2의 표에서와 같이 측정 보고대상의 사용 주파수에 따라 측정간격이 결정된다. 1.5 m 높이에서 측정간격별로 무선국 방향으로 최대 노출지점을 확인한다(그림 3-2). 찾은 최대 노출지점에서 1.1 m, 1.5 m, 1.7 m에서 각각 6분간 전기장강도를 측정하여 최댓값을 해당 무선국의 전자파강도로 정한다.

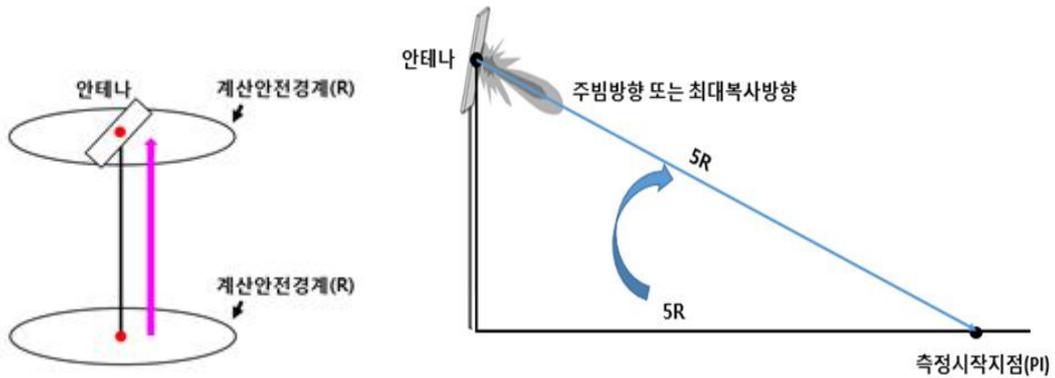


[그림 3-2] 기지국의 전자파강도 측정방법 설정 조건

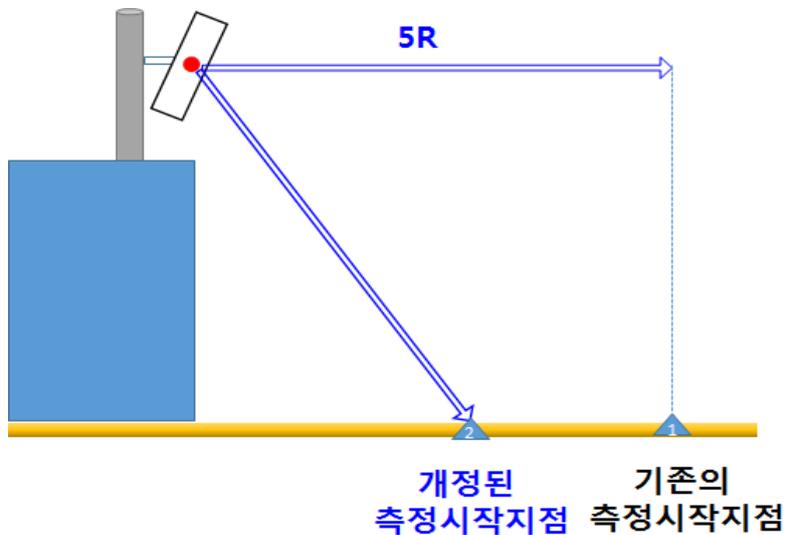
2. 계산안전경계(R)의 정의 변경

계산안전경계는 계산상으로 무선국의 전자파강도가 전자파인체보호기준 상의 기준 값과 동일한 값을 갖는 지점들을 말한다. 기존에는 안테나 중심에 해당되

는 지표면에서부터 계산안전경계를 계산하였지만 안테나의 중심으로부터 계산안전경계를 계산하도록 개정하면서 그림 3-3(a)와 같이 측정시작지점(5R)을 확인하는 개념도 변경되었다. 이에 따라 그림 3-3(b)와 같이 무선국과 측정시작지점과의 거리가 기존보다 짧아지면서 무선국의 측정지점수가 줄어들게 되어 측정시간 및 비용이 감소하는 효과가 있다.



(a) 계산안전경계의 개념 변경



(b) 기존 및 개정된 측정시작지점

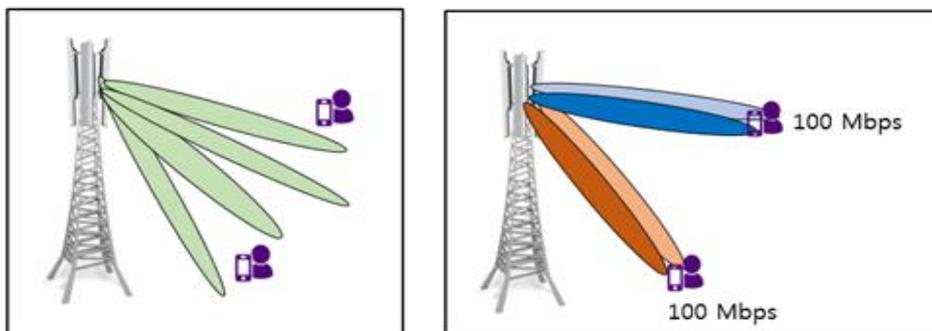
[그림 3-3] 계산안전경계 및 측정시작지점의 개념 변경

3. 5G 기지국의 전자파강도 측정방법의 주요 개정 내용

가. 5G 기지국의 전자파강도 측정방법

5G 기지국의 측정방법을 마련하기 위해서 기존 전자파강도 측정방법과 새로운 기준신호 측정과 보상계수를 적용하는 방법을 고려하였다. 첫 번째의 기존 측정방법을 적용할 경우는 측정시작지점에 빔포밍 기술을 이용하여 최대 전자파를 집중적으로 노출시킬 수 있어야 한다. 5G 기지국 서비스는 그림 3-4(a)와 같이 사용자의 휴대전화를 찾기 위해서 기준신호를 이용하며, 사용자와 데이터 통신을 위해서는 그림 3-4(b)와 같이 빔포밍 기술을 이용하여 집중적으로 데이터 신호를 주고받는다. 따라서 두 번째 측정방법은 기준신호를 측정하고 대역폭, 변조, RB, SCS 등 5G 기지국의 서비스 특성을 고려한 보상계수를 적용하여 계산하는 방법이다. 이 방법은 전자파가 최대로 노출되는 지점을 찾기 위한 과정을 거친 뒤 측정된 결과 중 최댓값 측정지점에서 1.1 m, 1.5 m, 1.7 m 높이의 측정위치에 대해 기준신호의 전자파강도를 6분간 측정한 값을 확인한다. 그리고 측정된 3개의 값에 대해 아래의 식(3-1)과 같이 최대 전자파강도 계산 값을 산출하고 3개의 계산 값 중 최댓값을 해당 무선국의 최대 전자파강도로 결정한다. 여기서, $E_{i,meas}$ 는 셀 i 의 심벌 단위 기준신호 측정값이며, $K_i^{R_0}$ 은 한 동기신호그룹(Synchronization Signal Burst, SSB) 주기의 최대 전기장강도의 산출을 위한 보상계수이다.

$$E_{i,T} = E_{i,meas} \cdot K_i^{R_0} \quad \text{식 (3-1)}$$



(a) 기준신호 개념도 (b) 5G 데이터 통신 개념도

[그림 3-4] 5G 기지국의 서비스 개념도

나. 5G 기지국의 전자파강도 측정기준 마련을 위한 현장 측정 결과

측정방법(안)에 대한 검증을 위하여 5G 기지국에 대한 현장측정을 관련 기관과 함께 하였다. 대상 기지국은 3.5 GHz 대역의 5G 기지국 시제품이며, 제원 정보는 표 3-1과 같다. 그림 3-5는 5G 기지국의 측정환경을 보여주고 있으며, 측정은 기지국이 설치된 건물의 맞은 편 주차장 건물 옥상에서 측정방법(안)에서 규정하는 방법대로 임의지점에서 최대 전기장강도 측정을 하였다. 기지국으로부터 가시거리가 확보되는 60 m 떨어진 지점에서 스펙트럼 분석기와 혼 안테나를 이용하여 전기장강도를 측정하였다. 그림 3-6(a)는 시간 영역에서의 전기장강도를 측정한 결과를 보여주고 있으며, 이 결과를 살펴보면, 측정지점에서 기준신호를 측정하고 최대 노출 조건시 빔의 수(8개)를 고려한 보상계수를 적용한 최대 전기장강도값은 표 3-2에 나타난 것과 같이 2.79 V/m(기준대비 4.5%)이었다. 그리고 기지국의 모든 안테나 신호를 측정지점을 향하여 전자파가 최대로 노출되도록 설정하여 측정한 최대 전기장강도값은 3.27 V/m(기준대비 5.3%)이었다.

[표 3-1] 5G 기지국 시제품의 제원 정보

주파수	EIRP	안테나 이득	안테나 지향각	지상고
3.50 ~ 3.60 GHz	73 dBm (20 kW)	24 dBi	9도	47 m



(a) 측정환경 주변정보



(b) 5G 기지국



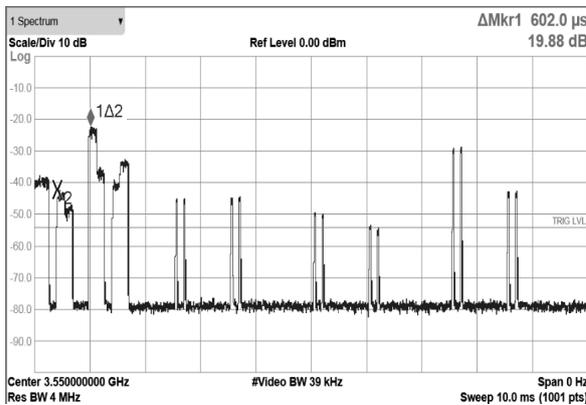
(c) 전자파강도 측정지점

[그림 3-5] 5G 기지국의 측정환경 모습

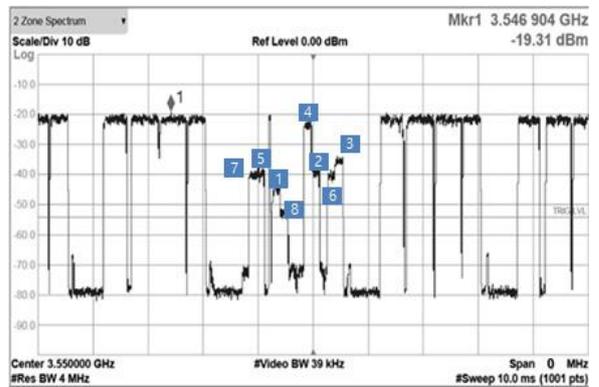
그림 3-6(b)는 복조 영역에서의 전기장강도를 측정한 결과를 보여주고 있으며, 실제 신호 8개의 빔을 확인할 수 있고 최대 수신되는 전자파는 4번 빔이 해당

된다. 이 결과를 살펴보면, 측정지점에서 기준신호를 측정하고 보상계수를 적용한 최대 전기장강도값은 표 3-3과 같이 2.16 V/m(기준대비 3.5%)이었다. 그리고 기지국의 최대 전자파 노출지점에서 측정한 최대 전기장강도값은 2.5 V/m(기준대비 4%)이었다. 이 값들은 5G 서비스가 가지고 있는 듀티사이클 등을 고려한다면 두 가지 방법 모두 유사한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

표 3-2와 표 3-3에서 보는 바와 같이 서비스 대역 100 MHz 기준으로 시간 영역과 복조 영역에서의 채널파워를 측정한 값은 각각 -5.82 dBm과 -8.15 dBm이다. 값의 차이는 시간 영역에서의 측정이 신호의 최댓값으로 도출된 값으로 실제 값보다 높으며, 이러한 측정 오차 값은 항상 높은 값으로 나타나게 된다. 보상계수 적용 결과 또한 시간 영역 기반이 복조 기반의 도출된 결과보다 높게 나타나게 된다. 따라서 복조 영역에서의 측정을 통해 기준신호를 측정하고 보상계수를 적용하는 것이 좀 더 실제 노출 값과 가까운 값이라고 할 수 있다.



(a) 기준신호 측정 결과



(b) 전자파를 한 곳에 모았을 때 측정 결과

[그림 3-6] 시간 영역 및 복조 영역에서의 측정

[표 3-2] 시간 영역에서의 전기장강도 측정 결과

측정거리 (m)	시간영역 측정 파워 (dBm/4MHz)	100MHz 대역 환산 최대 파워(dBm)	최대 전기장 강도 (V/m)	기준신호 PBCH/RE (dBm)	기준신호 전기장 강도(V/m)	외삽 팩터 (12*273RB)	보정팩터 (Sn)	외삽 최대 전기장 강도 (V/m)	
1	60.00	-19.80	-5.82	3.27	-41.04	0.06	57.24	3.24	
2	60.00	-19.80	-5.82	3.27	-41.04	0.06	57.24	0.8743	2.83
3	60.00	-19.80	-5.82	3.27	-41.04	0.06	57.24	0.8619	2.79

[표 3-3] 복조 영역에서의 전기장강도 측정 결과

측정거리 (m)	채널 파워 (dBm)	전기장 강도 (V/m)	기준신호 PBCH/RE (dBm)	기준신 호전기 장강도 (V/m)	외삽 팩터 ($\sqrt{12 \cdot 273 \text{ RB}}$)	보정 팩터 (S_n)	외삽된 최대 전기장 강도 (V/m)	Extrapolated power (dBm)	계산된 EIRP (dBm)	Power 에서 계산된 E(V/m)	
1	60.00	-8.15	2.50	-43.27	0.04	57.24	2.51	-8.12	58.77	2.51	
2	60.00	-8.15	2.50	-43.27	0.04	57.24	0.8743	2.19	-8.12	58.77	2.51
3	60.00	-8.15	2.50	-43.27	0.04	57.24	0.8619	2.16	-8.12	58.77	2.51

제4장 RF 펄스형 신호를 갖는 무선국의 전자파강도 측정방법 연구

제1절 개요

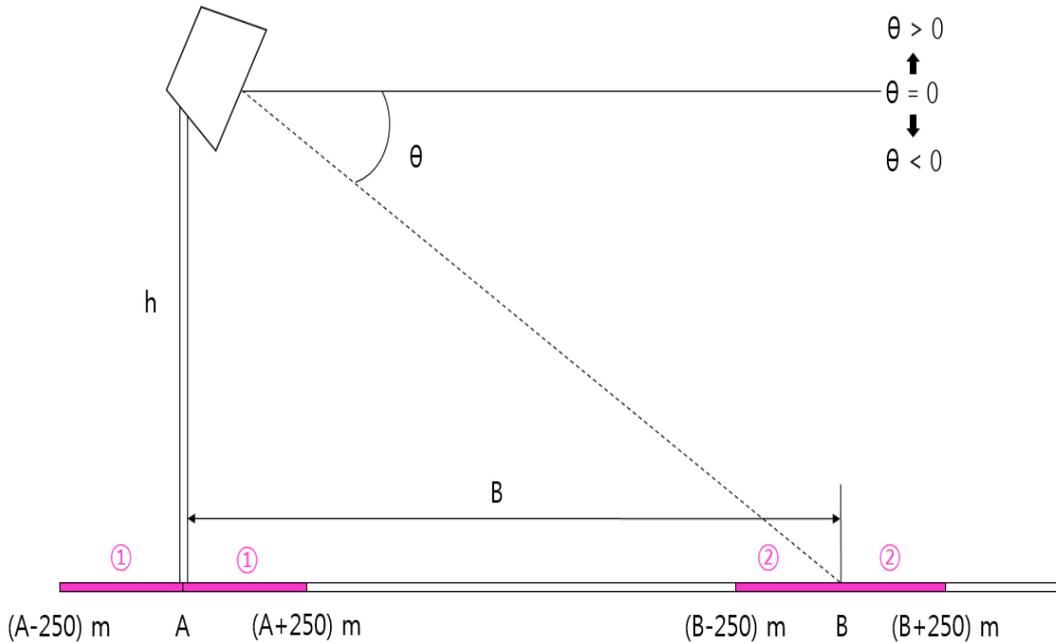
'18년도에는 펄스주기가 짧은 RF 펄스형 신호를 측정할 수 있는 스펙트럼 분석기를 이용하여 펄스형 신호의 전자파강도 측정방법 초안을 마련하였으며, '19년에는 보다 정확한 측정방법 마련을 위해 실제로 운영 중에 있는 RF 펄스형 신호를 갖는 무선국에 대하여 전자파가 인체에 노출되는 환경을 고려하여 전자파강도를 측정하였다. RF 펄스형 신호를 갖는 무선국의 전자파를 정확하게 측정하기 위해서는 고출력 무선국의 펄스반복주기, 펄스폭, 대역폭, 안테나 회전수, 듀티사이클 등 펄스형 신호의 특성이 잘 고려되어야 한다. 따라서 군산, 완도 등에 있는 펄스 주기가 아주 짧은 신호를 가지는 항공, 기상, 해상 고출력 무선국에 대하여 검증 측정을 수행하여 추가 측정방법을 보완하여 RF 펄스형 신호를 갖는 무선국의 전자파강도 측정방법(안)을 마련하였다.

제2절 측정방법(안)의 주요 개정 내용

RF 펄스형 신호를 정확하게 측정하기 위해서 계측기를 설정하는 방법도 중요하지만, 고출력 무선국의 측정지점 범위와 측정시간을 정하는 것도 중요한 요소이다. 측정지점 범위는 고출력 무선국의 현장 측정 결과와 기존 무선국의 측정지점수를 고려하여 결정하였다. 측정지점은 크게 무선국의 주 빔 방향이 하늘 방향으로 향하는 기상과 항공 고출력 무선국과 지상으로 향하는 해상과 육상 고출력 무선국으로 구분하여 적용하였으며, 이는 그림 4-1과 표 4-1에 나타난 바와 같이 무선국 송신 안테나의 지향 특성을 고려하였다. 그림 4-1과 같이 안테나 수직 지향각이 0 보다 크거나 같은 경우($\theta \geq 0$)는 안테나 위치(A)의 ± 250 m에 해당하는 영역을 측정지점으로 하였다. 그리고 안테나 수직 지향각이 0 보다 작은 경우($\theta < 0$) 안테나의 주엽빔이 지상에 도달되는 지점(B)으로부터 ± 250 m에 해당하는 영역을 측정지점으로 하였다. 이때 측정지점이 주변 장애물 등의 영향으로 측정이 어려운 경우 측정에서 제외할 수 있도록 하였다. 안테나 수직 지향각(θ)에 따른 측정지점과 측정간격 범위는 표 4-1과 같다. 여기서, 송신 안테나

수직 지향각(θ)이 0도 이하인 경우, 주엽빔 도달거리(B)를 다음의 식 4-1을 이용하여 구한다. h 는 안테나 설치 높이(지상고)를 나타낸다.

$$B = h / \tan \theta \quad (\text{식 4-1})$$



[① 측정지점 : (A-250), (A+250) m, ② 측정지점 : (B-250) ~ (B+250) m]

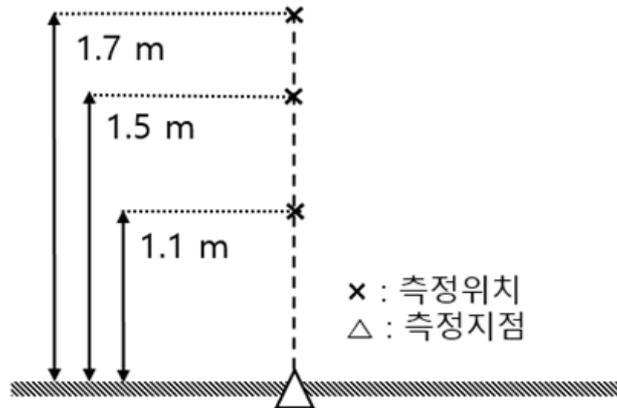
[그림 4-1] 안테나 수직 지향각(θ)에 따른 측정지점

[표 4-1] 안테나 수직 지향각(θ)과 주엽빔 도달거리(B)에 따른 측정지점 및 측정간격 범위

안테나 수직 지향각(θ)	측정지점 범위	측정간격
$\theta \geq 0$ 일 때 (항공, 기상 탐지용)	(A-250) m ~ (A+250) m	10 m
$\theta < 0$ 일 때 (육상, 해상 탐지용)	(B-250) m ~ (B+250) m	10 m

측정위치는 그림 4-2와 같이 측정용 지향성 안테나의 중심 높이를 지면으로부터 1.1 m, 1.5 m, 1.7 m로 위치시켜 총 3개 위치에서 측정한다. 먼저, 측정

지점에서 지향성 안테나의 수평 방향에 대하여 시간 평균 침투값과 평균값 각각에 대해 최댓값이 나오는 지점을 확인한다. 이때, 최댓값 지점을 찾기 위한 측정은 최소 1분 이상의 시간 평균으로 측정하여야 한다. 최댓값 지점에서 1.1 m, 1.5 m, 1.7 m 세 지점에 대하여 지향성 안테나의 수평 및 수직 방향에 대해 각각 6분간 측정한 값들을 구하고 각 성분들의 제곱평균제곱근 값을 침투값(rms)과 평균값(rms)으로 한다. 단, 10 GHz 이상의 무선국에 대한 평균면적 전력밀도 평가시 측정대상 면적에 대해 균일장으로 판단하고, 평균면적 전력 밀도는 해당 지점의 한 점에서 측정한 전기장강도와 자기장 강도의 곱(또는 전기장강도²/120 π)으로 평가할 수 있으며, 10 GHz 이상의 무선국인 경우, 측정 평균시간은 68/f^{1.05} 분으로 한다. 여기서, f의 단위는 GHz 이다.



[그림 4-2] 고출력 무선국의 측정위치

제3절 측정방법(안)에 대한 검증 측정

1. 측정범위에 대한 검증 측정

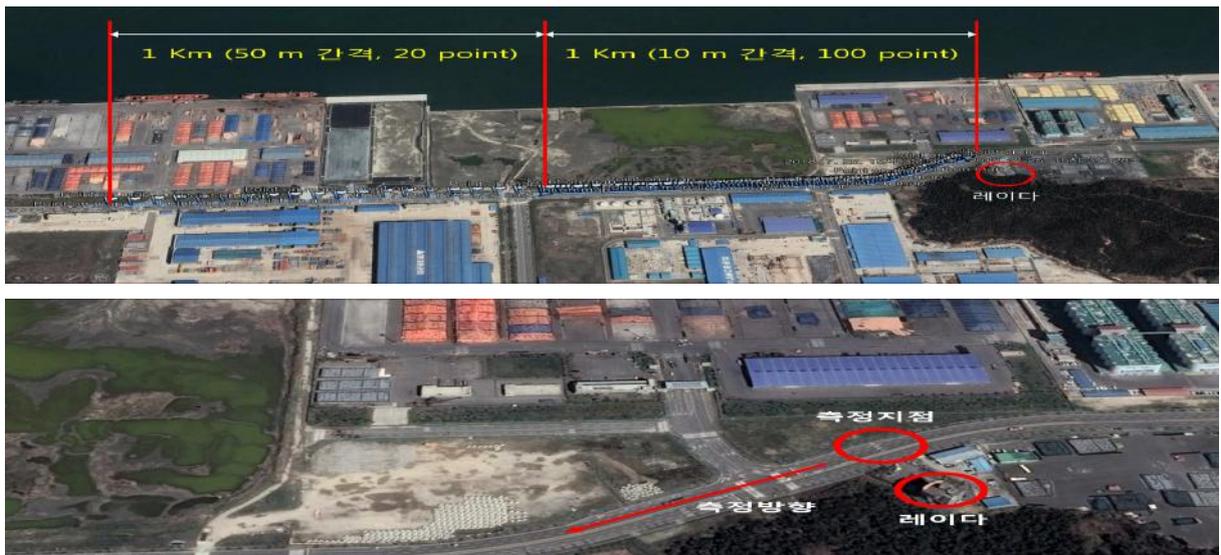
가. 해상 고출력 무선국의 전자파강도 측정

펄스 주기가 짧은 고출력 무선국의 정확한 측정방법 마련을 위하여 실제 운영 중인 해상 VTS(Vessel Traffic Service 해상교통관제시스템), 기상, 항공 고출력 무선국의 전자파강도를 측정을 통해 검증하였다. 완도(9.465 GHz,

30 kW)와 군산(9.375 GHz, 25 kW)의 해상 고출력 무선국에 대하여 무선국으로부터 이격 거리별(0 ~ 1 km : 10 m 간격, 1 ~ 2 km : 50 m 간격)로 지향성 안테나를 이용하여 전자파강도 최댓값(Peak)과 평균값(Avg.)을 측정하였다. 그림 4-3은 완도 해상 고출력 무선국 측정 환경을 보여주고 있으며, 그림 4-4는 군산 해상 고출력 무선국 측정 환경을 보여주고 있다.

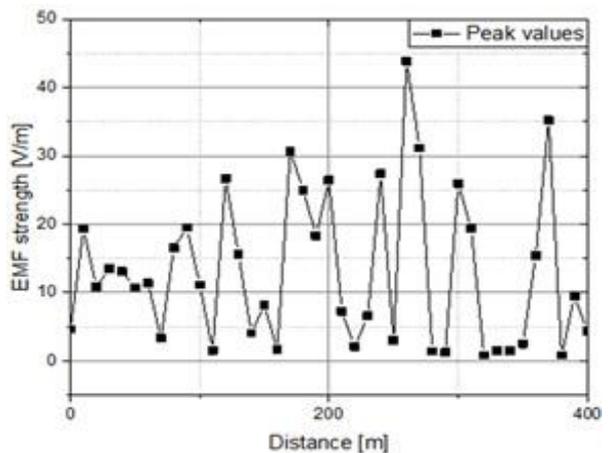
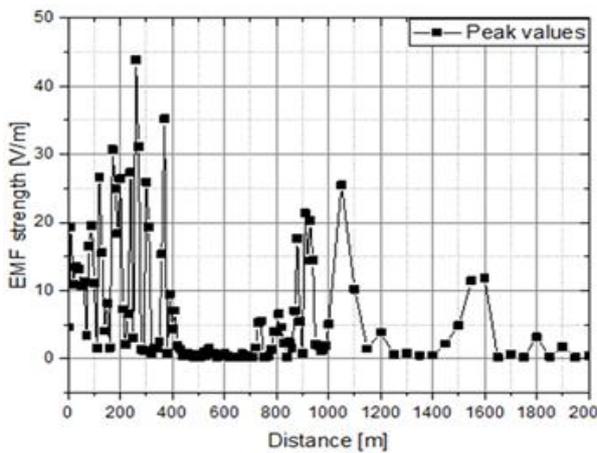


[그림 4-3] 완도 해상 고출력 무선국의 측정지점 및 측정방향



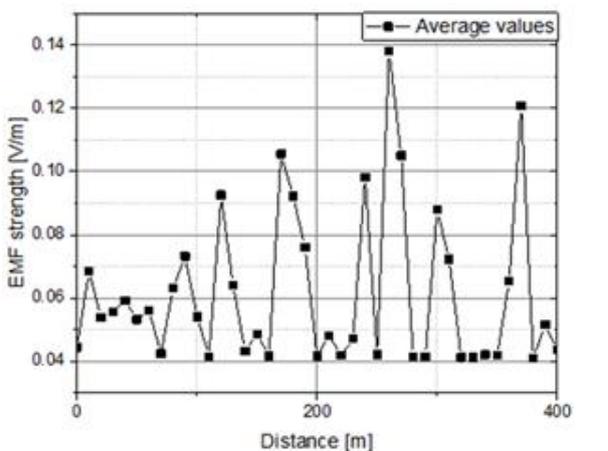
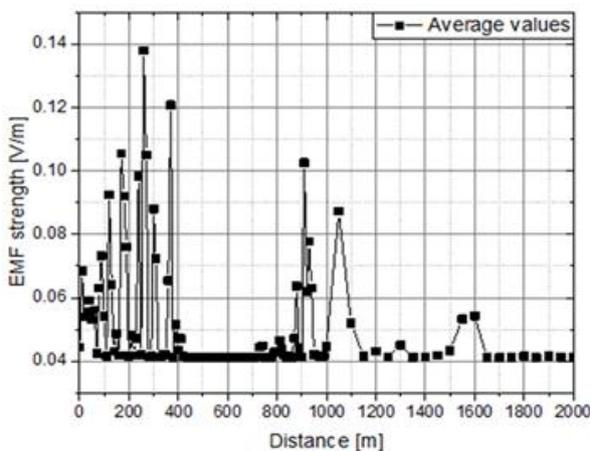
[그림 4-4] 군산 해상 고출력 무선국의 측정지점 및 측정방향

완도 해상 고출력 무선국의 전자파강도 측정 결과, 주 빔 방향과 지표면이 만나는 지면 영역(대략 80~261 m)과 1 km 지점 사이에서 최고 높은 측정값에 해당하는 최댓값 및 평균값이 분포됨이 확인되었으며, 그 이후의 거리에서는 측정값이 점점 감소하는 경향을 보였다. 400~800 m 지점에서 측정값이 낮게 나온 이유는 그림 4-5(a)와 그림 4-6(a)에 나타낸바와 같이 낮은 산에 의한 영향(가시거리 미확보)으로 나타난 것으로 보인다. 결론적으로 고출력 무선국의 전자파강도를 측정한 최댓값 및 평균값들은 전자파 인체보호기준값(ICNIRP 국제기준) 대비 각각 2.3%, 0.25% 이하의 값으로 낮게 나타났다.



(a) 거리 0~2 km까지의 전자파강도 분포 (b) 거리 0~400 m까지의 전자파강도 분포

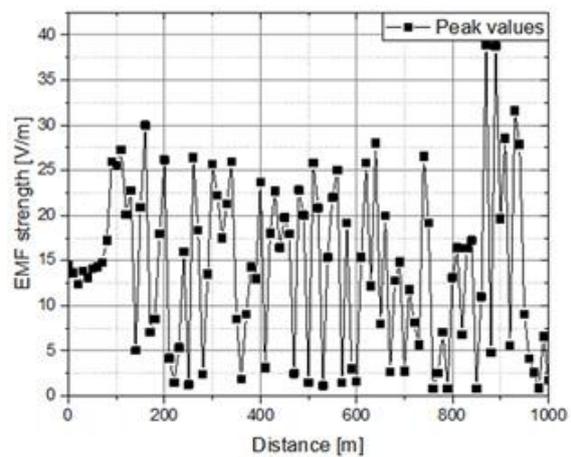
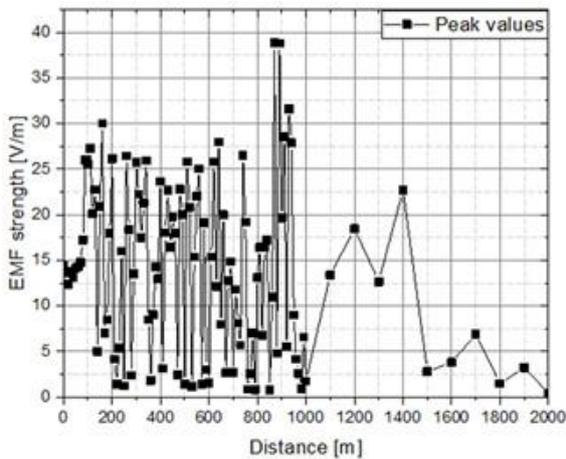
[그림 4-5] 완도 : 고출력 무선국의 거리별 전자파강도 세기 변화(최댓값)



(a) 거리 0~2 km까지의 전자파강도 분포 (b) 거리 0~400 m까지의 전자파강도 분포

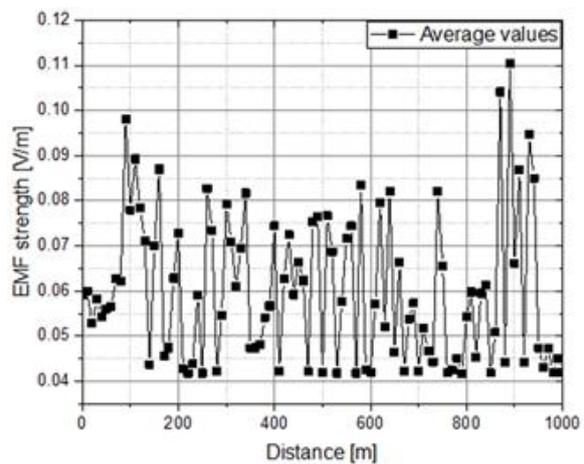
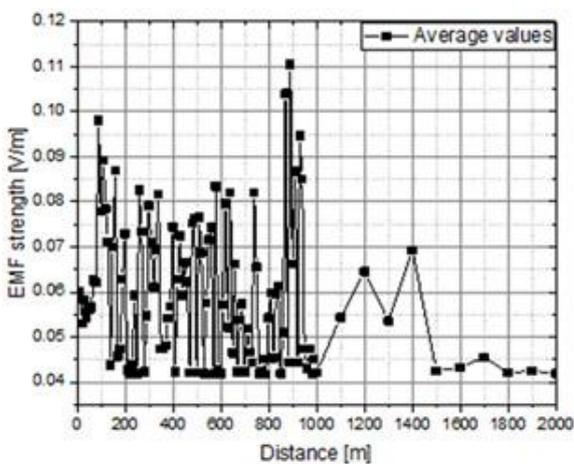
[그림 4-6] 완도 : 고출력 무선국의 거리별 전자파강도 세기 변화(평균값)

군산 해상 고출력 무선국의 전자파강도 측정 결과, 주 빔 방향과 지면이 만나는 지면 영역(대략 172~560 m)과 1 km 지점 사이에서 최고 높은 측정값에 해당하는 최댓값 및 평균값이 분포됨이 확인되었으며, 그 이후의 거리에서는 그림 4-7(a), 그림 4-8(a)와 같이 측정값이 점점 감소하는 경향을 보였다. 결론적으로 고출력 무선국의 전자파강도로 측정한 최댓값 및 평균값 들은 전자파인체보호기준 대비 각각 2%, 0.2% 이하의 낮은 값으로 나타났다.



(a) 거리 0~2 km까지의 전자파강도 분포 (b) 거리 0~1 km까지의 전자파강도 분포

[그림 4-7] 군산 : 고출력 무선국의 거리별 전자파강도 세기 변화(최댓값)



(a) 거리 0~2 km까지의 전자파강도 분포 (b) 거리 0~1 km까지의 전자파강도 분포

[그림 4-8] 군산 : 고출력 무선국의 거리별 전자파강도 세기 변화(평균값)

나. 군산 기상 및 항공 고출력 무선국의 전자파강도 측정

군산의 기상(9.36 GHz, 1 kW), 무안의 항공(1.03/2.75 GHz, 2.57/15 kW) 고출력 무선국에 대하여 무선국으로부터 거리별로 지향성 안테나를 이용하여 전자파강도를 측정하였다. 기상 고출력 무선국은 그림 4-9와 같이 ①을 기준으로 ⑫번까지 전자파강도 최댓값(Peak)을 측정하였다. 군산 기상 고출력 무선국의 측정 결과, 무선국으로부터 거리가 멀어질수록 측정값이 감소하는 경향을 보였으며, ④ 지점에서의 최댓값은 2.53 V/m이고 ⑧ 지점에서의 최댓값은 0.23 V/m이며, ⑫ 지점에서의 최댓값은 0.04 V/m로 나타났다.

항공 고출력 무선국은 그림 4-10과 같이 총 3지점에서 거리별로 전자파강도 최댓값(Peak)을 측정하였다. 측정지점 1은 고출력 무선국 아래 구간부터 400 m까지 50 m 간격으로 측정하였다. 측정지점 2은 0 ~ 900 m까지 50 m 간격으로 측정하였다. 그리고 측정지점 3은 0 ~ 1.4 km까지 20 m 간격으로 측정하였다. 무안 공항 고출력 무선국의 측정 결과를 살펴보면, 대부분의 위치에서 무선국으로부터 거리가 멀어질수록 측정값이 감소하는 경향을 보였다.



[그림 4-9] 군산 기상 고출력 무선국의 측정 모습



[그림 4-10] 무안 항공 고출력 무선국의 측정 모습

2. 측정시간에 대한 검증 측정

RF 펄스형 신호를 갖는 무선국의 전자파의 정확한 전자파강도 최댓값 및 평균값을 얻기 위해서는 최대 노출 지점에서 6분간의 측정시간이 필요하다. 이는 펄스 주기가 짧은 고출력 무선국의 전자파를 정확하게 측정하기 위해서는 충분한 시간을 가져야 한다는 의미이다. 이에 대해서 검증하기 위하여 실제 운영 중인 군산과 완도의 해상 고출력 무선국의 최댓값 노출 지점에서 평균 시간별(0~10분간)로 전자파강도 최댓값 및 평균값을 확인하였다. 표 4-2는 군산 해상 고출력 무선국의 최댓값 노출 지점인 390 m 지점에서 지향성 안테나의 수평 방향으로 스펙트럼 분석기를 이용하여 평균 시간별로 전자파강도 최댓값 및 평균값을 확인하였으며, 최소 6분 이상의 측정시간이 되어야 최고 높은 최댓값 및 평균값을 확인할 수 있었다. 표 4-3은 완도 해상 고출력 무선국인 경우로 무선국 방향과 일치하는 최댓값 노출 지점인 260 m 지점에서 평균 시간별로 전자파강도 최댓값 및 평균값을 측정하였으며, 최소 6분 이상의 측정시간이 되어야 최고 높은 최댓값 및 평균값을 확인할 수 있었다.

[표 4-2] 최댓값 노출 지점(390 m 지점, 수평)에서의 평균 시간별 전자파강도 최댓값 및 평균값(군산 해상 고출력 무선국)

구분	측정시간	최댓값(dBm)	평균값(dBm)	비고
1	4분	-26.32	-72.27	
2	6분	-25.53	-72.55	
3	8분	-23.61	-71.94	
4	10분	-23.12	-72.12	

[표 4-3] 최댓값 노출 지점(260 m 지점, 수평)에서의 평균 시간별 전자파강도 최댓값 및 평균값(완도 해상 고출력 무선국)

구분	측정시간	최댓값(dBm)	평균값(dBm)	비고
1	4분	-24.97	-54.79	
2	6분	2.28	-48.28	
3	8분	2.28	-49.31	
4	10분	2.28	-49.82	

제5장 전자파 차단제품 모니터링 및 거짓 광고 법적 제재 추진

제1절 개요

최근 정보통신기술의 급격한 발전은 사람과 기기간의 다양한 네트워크를 형성하고 일상생활에 거부감 없이 스며들어 삶의 질을 윤택하게 한다. 동시에 정보통신기기 사용량 증가로 인하여 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 관심과 우려 또한 증가하는 추세이다.

일상생활에서 인체에 영향을 미칠 만큼 강한 전자파에 노출되는 경우는 거의 없는 상황이지만 전자파 인체영향과 관련된 전문적인 내용을 일반 국민들이 쉽게 이해하기가 어렵고 언론보도 등을 통한 전자파 유해성에 대한 잘못된 정보와 불안 심리는 상업적 악용으로 이어져 일부 업체들이 전자파 차단제품 구매를 유도하고 이익을 취하고 있는 실정이다. 이에 국립전파연구원에서는 생활속 전자파 홈페이지 운영 및 Q&A 등을 통하여 전자파에 대한 올바른 정보 제공을 위하여 노력하고 있다.

또한, 국립전파연구원에서는 거짓·과장 광고 전자파 차단제품으로부터 소비자를 보호하기 위하여 한국방송통신전파진흥원의 '전자파 노출 차단제품 성능검증을 통한 효율적인 관리방안 연구'를 통하여 연구원과 공동으로 시중에 유통 중인 전자파 차단제품에 대한 광고 내용 모니터링과 제품 선정 및 실제 차단효과에 대한 성능검증을 실시하였으며, 거짓·과장 광고 제품을 판매한 업체에 대해서는 공정거래위원회와의 업무 협력을 통해 법적 제재를 추진하였다.



[그림 5-1] 공정거래위원회와 업무 협력 체계도

제2절 전자파 차단제품 광고현황 및 제품선정

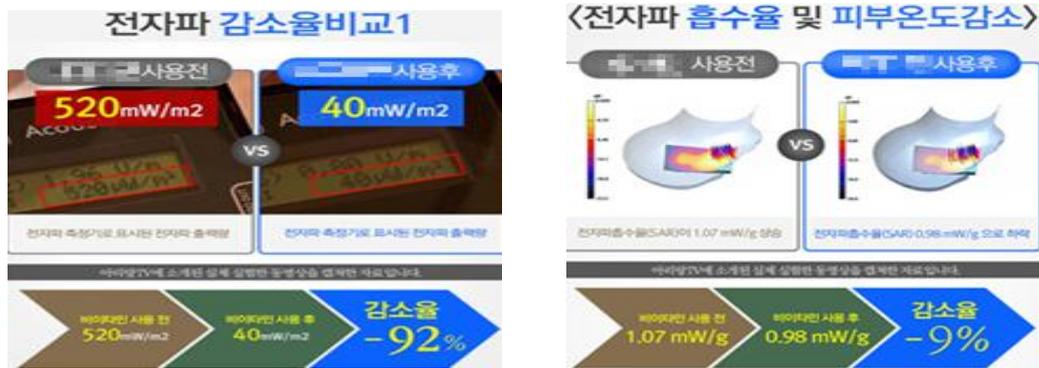
1. 전자파 차단제품 광고현황

전자파 차단제품 광고는 가전제품 등 일상생활에서 사용하는 전자제품 등에서 발생하는 전자파가 인체에 유해하다는 잘못된 보도 자료를 인용하여 소비자의 공포심과 불안감을 조성하며, 전자파 차단과 관련한 과대·과장 허위 광고를 통하여 전자파 차단제품을 홍보하고 있다.



[그림 5-2] 임산부, 신생아를 대상으로 한 제품 광고

또한, 구매자의 의구심을 해소하는 방법으로 전자파 측정결과 또는 특허 관련 사항 등을 게시하여 제품의 신뢰성 확보 및 판매를 유도하고 있지만, 홈페이지에 게시된 대부분의 내용은 모든 전자파 성분에 차단효과가 있는 것처럼 왜곡한다거나, 특허증도 그 내용상 전자파 차단 근거로 사용할 수 없는 제조방법 및 디자인에 관한 것들만 공개하고 있다.



[그림 5-3] 전자파 측정결과 등을 이용한 광고

2. 전자파 차단제품 선정

‘전자파(電磁波)’란 전기장(電氣場)과 자기장(磁氣場)이 주기적으로 바뀌면서 생기는 파동을 말하며, 전자파 차단제품은 전기장과 자기장 모두를 차단해야 하는 동시에 제품 성능에 영향을 끼치지 않아야 한다. 따라서 시중에 판매되고 있는 전자파 차단제품 중 설치만으로 전자파가 차단된다고 광고하거나 잘못된 차단 성능검증 결과서를 가지고 유해한 전자파를 차단해준다는 허위 과대·과장 광고 하고 있는 제품들을 조사하여 전자파 차단제품을 선정하였다. 선정된 차단제품은 표 5-1과 같이 9종의 제품을 선정하였다.

[표 5-1] 선정된 전자파 차단제품 광고 현황

No.	유형	광고내용
1	공유기 안테나 커버	<ul style="list-style-type: none"> ○ 95%의 불필요한 과다 전자파를 완벽 차단하여 건강을 지켜 줍니다. ○ 자기장을 효과적으로 차단
2	콘센트 필터	<ul style="list-style-type: none"> ○ 저주파(150 kHz - 30 MHz)차단
3	임부복	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전기장 차단 99% 차단 ○ 자기장 차단인 경우 기업부설연구소로 문의
4	러닝셔츠	<ul style="list-style-type: none"> ○ 저·고주파 차단 실험을 통해 일반 섬유 대비 전자파 수치가 90% 이상 감소함
5	수맥패드	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방바닥이나 침대 위에 깔면 바닥에서 올라오는 수맥파와 전기장판의 해로운 전자파를 100% 차단
6	담요	<ul style="list-style-type: none"> ○ 저주파 전자파 케어용(30-15 MHz) ○ 100% 전자파 차폐함
7	텐트	<ul style="list-style-type: none"> ○ 99% 전자파를 차단(특허증) ○ 근거 실험으로 텐트 안과 밖의 전기장 수치를 측정
8	공기청정기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공기청정기의 음이온이 전자파를 줄일 수 있다고 광고
9	스티커	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전자파 차폐효율 99 %로 스마트폰 등의 전자파로부터 안심하고 사용할 수 있다고 광고

제3절 전자파 차단제품 성능검증 결과

1. 공유기 안테나 커버

공유기 안테나 커버는 그림 5-4와 같이 공유기 안테나에 직접 커버를 씌워 전자파를 차단하는 방식으로 전자파를 95 % 차단한다고 광고하며, 전자파 차단효과에 대한 성능검증은 자기장 값만 측정한 자료를 게시하였다.

이에 본 제품의 정확한 전자파 차단성능 검증을 위하여 그림 4-4와 같이 전기장 측정 장비를 이용하여 2.4 GHz의 전기장 값의 변화량을 확인하고, 인터넷 속도를 측정하여 안테나 커버로 인한 무선공유기의 통신성능 저하 여부를 확인하였다.



〈2.4 GHz 전기장 측정〉

〈인터넷 속도 측정〉

[그림 5-4] 공유기 안테나 커버 전자파 차단성능 측정방법

측정결과, 전기장 값은 표 5-2를 보면 안테나 커버를 씌우지 않았을 때와 비교하여 최대 85.95 %까지 감소하였지만, 표 5-3에서와 같이 인터넷 속도도 21.24 % 감소한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 제품은 안테나에 직접 커버를 씌워 전자파를 차단하는 방식으로 공유기에서 발생하는 전기장 세기를 감소시키지만, 동시에 통신 성능까지 저하시켰다.

[표 5-2] 공유기 전기장 측정결과

전기장 차단성능 (주파수 2.4 GHz)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
안테나 커버 미적용	1.70	-
커버를 절반만 적용	1.34	20.98 % 감소
커버를 전체 적용	0.24	85.95 % 감소

[표 5-3] 공유기 인터넷 속도 측정결과

구분	인터넷 속도(Mbps)	변화율(%)
안테나 커버 미적용	41.43	-
커버를 절반만 적용	40.07	3.28 % 감소
커버를 전체 적용	32.63	21.24 % 감소

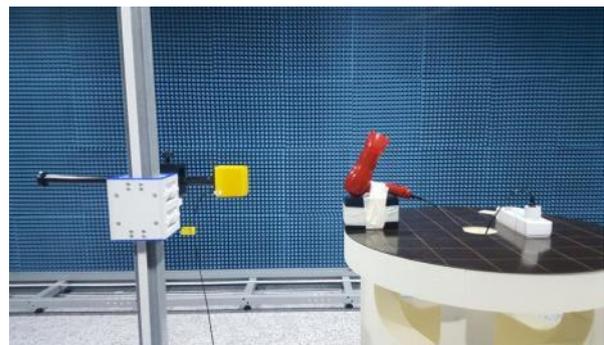
2. 콘센트 필터

콘센트 필터는 가전기기의 전원 콘센트 앞에 끼우는 방식으로 가전기기에서 발생하는 저주파(150kHz ~ 30MHz)를 차단한다고 광고하며, 전자파 차단효과에 대한 성능검증은 전자기기에서 발생하는 전자파가 인체에 영향을 주는 영향을 측정하는 EMF(Electro Magnetic Field) 측정이 아닌 전자기기에서 발생하는 노이즈 전자파로 인하여 타 전자기기에 영향을 주는 EMI(Electro Magnetic Interference) 측정결과를 제공하고 있다.

이에 본 제품의 정확한 EMF 전자파 차단성능 검증을 위하여 그림 5-5와 같이 전자레인지, 헤어드라이기 등을 전자파 발생신호원으로 사용하고, 2.4 GHz 및 60 Hz 대역에서 콘센트 장착 여부에 따른 전기장과 자기장 값의 변화량을 측정하였다.



〈2.4 GHz 전기장 측정〉



〈60 Hz 전기장 및 자기장 측정〉

[그림 5-5] 콘센트 필터 전자파 차단성능 측정방법

표 5-4는 전기장 및 자기장 측정결과 콘센트 필터 적용 여부와 관계없이 측정값의 변화량이 거의 없다는 것이 확인되었으므로, 본 제품은 전자파 차단효과가 없는 것으로 판단되었다.

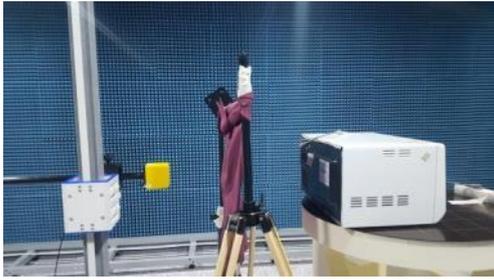
[표 5-4] 콘센트 필터 전자파 차단성능 측정결과

전기장 차단성능 (주파수 60 Hz, 전자레인지)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
콘센트 필터 미적용	5.92	-
콘센트 필터 적용	6.34	7.21 % 증가
전기장 차단성능 (주파수 60 Hz, 헤어드라이기)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
콘센트 필터 미적용	42.34	-
콘센트 필터 적용	42.43	0.2 % 증가
자기장 차단성능 (주파수 60 Hz, 전자레인지)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
콘센트 필터 미적용	12.40	-
콘센트 필터 적용	12.46	0.44 % 증가
전기장 차단성능 (주파수 2.4 GHz, 전자레인지)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
콘센트 필터 미적용	4.56	-
콘센트 필터 적용	4.94	8.17 % 증가

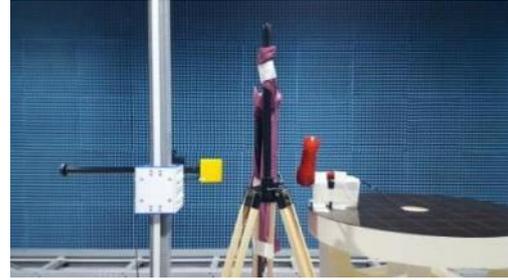
3. 임부복

임부복은 전기장만 차단하고 자기장 차단이 필요한 경우에는 자사 연구소로 문의하라는 식으로 광고하며 전자파 차단효과에 대한 성능검증도 전기장 측정결과를 게시하였지만, ‘전자파차단 Max 99.9 %’ 문구 등 과대·과장 광고를 사용하여 제품을 판매하고 있다,

이에 본 제품의 전자파 차단성능 검증을 위하여 그림 5-6과 같이 전자레인지, 헤어드라이기 등을 전자파 발생신호원으로 사용하고, 전자레인지의 주원 주파수 대역인 60 Hz 대역에서 임부복의 착용 여부에 따른 전기장 및 자기장 값의 변화량을 측정하였다.



〈전자레인지를 신호원으로 측정〉



〈헤어드라이기를 신호원으로 측정〉

[그림 5-6] 임부복 전자파 차단성능 측정방법

표 5-5는 임부복 거치 유무에 따른 전기장 및 자기장 측정결과로서 전기장은 약 20.62 % 감소되었으며, 자기장은 거의 변화 없이 오차범위 이내인 것으로 확인되었다. 결과적으로 전기장 차단 효과가 일부 확인되었지만, ‘전자파차단 Max 99.9 %’ 등의 문구를 사용하여 자기장도 차단되는 것으로 인지할 수 있으므로 차단성능에 대한 광고 문구는 일부 수정이 필요한 것으로 판단된다.

[표 5-5] 임부복 전자파 차단성능 측정결과

전기장 차단성능 (주파수 60 Hz, 헤어드라이기)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
임부복 미거치	39.23	-
임부복 거치	31.15	20.62 % 감소
자기장 차단성능 (주파수 60 Hz, 전자레인지)		
구분	평균값(mG)	차단성능(%)
임부복 미거치	11.78	-
임부복 거치	11.81	0.28 % 증가

4. 러닝셔츠

러닝셔츠도 임부복과 마찬가지로 의류로써 ‘항균/전자파 차단으로 여성 기능성 향상’ 및 ‘공인기관의 실험으로 입증된 뛰어난 전자파 차단 기능’ 등의 광고 문구를 사용하고 있다.

이에 본 제품의 전자파 차단성능 검증을 위하여 그림 5-7과 같이 전자레인지를, 헤어드라이기 등을 전자파 발생신호원으로 사용하고, 전자레인지의 동작 주파수인 2.4 GHz 주파수와 전자레인지의 전원 주파수 60 Hz 대역의 전기장과 자기장 값의 변화량을 측정하였다.



〈60 Hz 전기장 및 자기장 측정〉



〈2.4 GHz 전기장 측정〉

[그림 5-7] 러닝셔츠 전자파 차단성능 측정방법

표 5-6은 전기장 및 자기장 측정결과로서 60 Hz 전기장은 약 17.31 % 감소되고 2.4 GHz 전기장은 약 35.92 % 감소된 것으로 확인되었으나, 자기장의 경우 거의 변화 없이 오차범위 이내 이내인 것으로 확인되었다. 따라서 전기장 차단 효과는 일부 확인되었으나, 자기장은 차단하지 못하므로 본 제품 역시 전자파를 차단하는 효과가 없는 것으로 나타났다.

[표 5-6] 러닝셔츠 전자파 차단성능 측정결과

전기장 차단성능 (주파수 60 Hz, 헤어드라이기)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
러닝셔츠 미거치	39.36	-
러닝셔츠 거치	32.55	17.31 % 감소

자기장 차단성능 (주파수 60 Hz, 전자레인지)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
러닝셔츠 미거치	12.13	-
러닝셔츠 거치	12.24	0.97 % 증가
전기장 차단성능 (주파수 2.4 GHz, 혼안테나)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
러닝셔츠 미거치	3.17	-
러닝셔츠 거치	2.03	35.92 % 감소

5. 수맥패드

수맥패드는 매트 제품으로써 방바닥이나 침대 위에 깔면 바닥에서 올라오는 수맥파와 전기장파의 해로운 전자파를 100% 차단한다고 광고하고 있다.

이에 본 제품의 전자파 차단성능 검증을 위하여 그림 5-8과 같이 전기장판을 전자파 발생신호원으로 사용하고, 실제 수맥패드 사용을 고려 전기장판 위에 패드를 거치하여 전기장판의 주신호원인 60 Hz 주파수 대역의 전기장 및 자기장을 측정하였다.



〈수맥패드 미적용 측정〉



〈수맥패드 적용 측정〉

[그림 5-8] 수맥패드 전자파 차단성능 측정방법

표 5-7은 전기장 및 자기장 측정결과로서 수맥패드 적용 여부와 관계 없이 측정값의 변화량이 거의 없다는 것이 확인되었으므로, 본 제품은 전자파를 차단하는 효과가 없는 것으로 나타났다.

[표 5-7] 수맥패드 전자파 차단성능 측정결과

전기장 차단성능 (주파수 60 Hz)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
수맥패드 미적용	41.51	-
수맥패드 적용	41.47	0.1 % 감소
자기장 차단성능 (주파수 60 Hz)		
구분	평균값(mG)	차단성능(%)
수맥패드 미적용	1.96	-
수맥패드 적용	1.98	1.17 % 증가

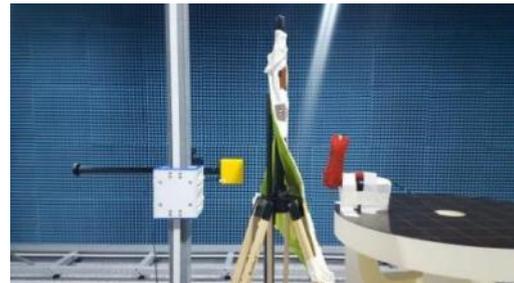
6. 담요

전자파 차단 담요는 사용시 저주파수(30Hz ~ 15000Hz) 대역의 전기장을 차단한다고 광고하며, 멀티 콘센트에 담요를 덮기 전과 후를 비교하여 측정 한 동영상 을 게시하고 있다.

이에 본 제품의 전자파 차단성능 검증을 위하여 그림 5-9와 같이 전자레인 지 및 헤어드라이기 등을 전자파 발생신호원으로 사용하고, 담요 거치 유무에 따른 60 Hz 주파수 대역의 전기장 및 자기장을 측정하였다.



〈전자레인지 를 신호원으로 측정〉



〈헤어드라이기 를 신호원으로 측정〉

[그림 5-9] 담요 전자파 차단성능 측정방법

표 5-8은 담요 거치 유무에 따른 전기장 및 자기장 측정결과로서 60 Hz 전기장은 약 28.51 % 감소된 것으로 확인되었으나, 자기장의 경우 거의 변화가 없는 것으로 확인되므로 자기장 차단성능에 대한 광고 문구는 일부 수정이 필요한 것으로 판단되었다.

[표 5-8] 담요 전자파 차단성능 측정결과

전기장 차단성능 (주파수 60 Hz, 헤어드라이기)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
담요 미거치	39.18	-
담요 거치	28.01	28.51 % 감소
기장 차단성능 (주파수 60 Hz, 전자레인지)		
구분	평균값(mG)	차단성능(%)
담요 미거치	12.26	-
담요 거치	12.29	0.29 % 증가

※ 본 제품은 현재 판매를 중단하고, 홈페이지에 전기장 차단 효과만 있는 것으로 광고가 수정됨

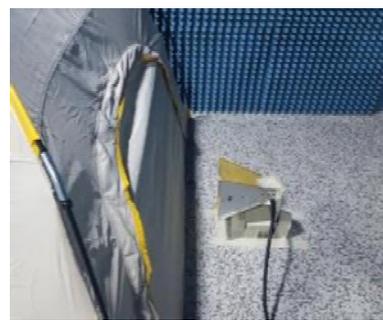
7. 텐트

전자파 차단 텐트는 전자파를 99 % 차단한다고 광고하며, 홈페이지에 전기장 차단성능에 대한 측정 동영상을 게재하여 판매하고 있다.

이에 본 제품의 전자파 차단성능 검증을 위하여 그림 5-10과 같이 전자레인지, 헤어드라이기 등을 전자파 발생신호원으로 사용하고, 일상생활의 와이파이가 주파수 대역인 2.4 GHz 및 60 Hz 대역에서 전자파 차단 텐트 설치 유무에 따른 전기장과 자기장 값의 변화량을 측정하였다.



〈60 Hz 전기장 및 자기장 측정〉



〈2.4 GHz 전기장 측정〉

[그림 5-10] 텐트 전자파 차단성능 측정방법

표 5-9는 전기장 및 자기장 측정결과로서 60 Hz 전기장은 약 87.43 % 감소되고 2.4 GHz 전기장은 약 91.94 % 감소된 것으로 확인되었으나, 자기

장의 경우 오차범위 이내지만 측정값이 오히려 더 증가하였다.

따라서 전기장에서만 차단 효과만 일부 확인되고 자기장은 차단하지 못하므로 본 제품 역시 전자파 차단 효과가 없으며, 홈페이지에서 제공하고 있는 전자파 99 % 차단 홍보 문구를 수정할 필요성이 있다.

[표 5-9] 텐트 전자파 차단성능 측정결과

전기장 차단성능 (주파수 60 Hz, 헤어드라이기)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
텐트 미적용	24.75	-
텐트 적용	3.11	87.43 % 감소
자기장 차단성능 (주파수 60 Hz, 전자레인지)		
구분	평균값(mG)	차단성능(%)
텐트 미적용	14.42	-
텐트 적용	14.93	3.53 % 증가
전기장 차단성능 (주파수 2.4 GHz, 혼안테나)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
텐트 미적용	3.43	-
텐트 적용	0.28	91.94 % 감소

8. 공기청정기

본 전자파 차단 공기청정기 제품은 머리띠 또는 목걸이 형태로써 사용 시 공기청정기 음이온이 발생되어 인체에 유해한 전자파를 감소시킨다고 광고하고 있다.

이에 본 제품의 전자파 차단성능 검증을 위하여 그림 5-11과 같이 전자레인지, 헤어드라이기 등을 전자파 발생신호원으로 사용하고, 제품 착용상태를 가정하여 공기청정기를 스티로폼에 거치시키고 2.4 GHz 및 60 Hz 전기장과 자기장 값의 변화량을 측정하였다.



〈60 Hz 전기장 및 자기장 측정〉

〈2.4 GHz 전기장 측정〉

[그림 5-11] 공기청정기 전자파 차단성능 측정방법

표 5-10은 전기장 및 자기장 측정결과로서 공기청정기 사용 여부와 관계없이 측정값의 변화가 거의 없거나 오차범위 이내이므로, 본 제품은 전자파 차단 효과가 없는 것으로 판단할 수 있다.

[표 5-10] 공기청정기 전자파 차단성능 측정결과

전기장 차단성능 (주파수 60 Hz, 헤어드라이기)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
공기청정기 미적용	49.21	-
공기청정기 적용	49.34	0.27 % 증가
자기장 차단성능 (주파수 60 Hz, 전자레인지)		
구분	평균값mG)	차단성능(%)
공기청정기 미적용	12.45	-
공기청정기 적용	12.45	변화 없음
전기장 차단성능 (주파수 2.4 GHz, 혼안테나)		
구분	평균값(V/m)	차단성능(%)
공기청정기 미적용	2.18	-
공기청정기 적용	2.30	5.42 % 증가

9. 스티커

전자파 차단 스티커는 전자파 차폐효과 99.99 %이며, 휴대폰, 노트북 등 원하는 곳에 붙이는 수단만큼 차단효과가 증가하는 것으로 광고하고 있다. 이에 본 제품의 전자파 차단성능 검증을 위하여 그림 5-12와 같이 휴대폰에 스티커 부착 개수 등을 변화시키며, 휴대전화의 전자파흡수율을 측정하였다.



스티커 미부착

후면 1개 부착

후면 2개 부착

후면 3개 부착

[그림 5-12] 스티커 전자파 차단성능 측정방법

표 5-11은 스티커 부착여부에 따른 전자파흡수율*을 측정한 결과로서 스티커 부착 여부와 관계없이 측정값의 변화량이 거의 없다는 것이 확인되었으므로, 본 제품은 전자파 차단성능이 없는 것으로 판단되었다.

[표 5-11] 스티커 전자파 차단성능 측정결과

스티커 부착여부에 따른 전자파흡수율 측정값		
구분	평균값 (W/kg)	차단성능(%)
스티커 미부착	0.312	-
후면 1개 부착	0.312	-
후면 2개 부착	0.308	- 1.2 %
후면 3개 부착	0.310	- 0.6 %

* 전자파흡수율 기준은 안테나공급전력이 20mW를 초과하고 인체로부터 20cm 이내에 위치하는 휴대용 송신 무선설비에 적용함

※ 전자파인체보호기준 참고

[표 5-12] 전자파인체보호기준

과학기술정보통신부고시 제2017-7호 전자파인체보호기준

별표 1 <일반인에 대한 전자파강도기준(제3조제1항 관련)>

주파수 범위	전기장강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속밀도 (μ T)	전력밀도 (W/m ²)
1Hz 이하	-	3.2×10^4	4×10^4	
1Hz 이상 ~ 8Hz 미만	10,000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	
8Hz 이상 ~ 25Hz 미만	10,000	4,000/f	5,000/f	
0.025kHz 이상 ~ 0.8kHz 미만	250/f	4/f	5/f	
0.8kHz 이상 ~ 3kHz 미만	250/f	5	6.25	
3kHz 이상 ~ 150kHz 미만	87	5	6.25	
0.15MHz 이상 ~ 1MHz 미만	87	0.73/f	0.92/f	
1MHz 이상 ~ 10MHz 미만	$87/f^{1/2}$	0.73/f	0.92/f	
10MHz 이상 ~ 400MHz 미만	28	0.073	0.092	2
400MHz 이상 ~ 2,000MHz 미만	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	f/200
2GHz 이상 ~ 300GHz 미만	61	0.16	0.20	10

* 전력선 사용 주파수 **60 Hz**의 인체보호기준 : 전기장 4.16 V/m, 자기장 83.3 μ T(833 mG)
무선랜 사용 주파수 **2.4 GHz**의 인체보호기준 : 전기장 61 V/m, 자기장 0.2 μ T(2 mG)

별표 3 <전자파흡수율(SAR)기준(제4조 관련)>

주파수	구분	전자파흡수율 기준(W/kg)		
		전신	머리/몸통	사지
100kHz~10GHz	일반인	0.08	1.6	4
	직업인	0.4	8	20

제4절 결론 및 향후계획

이 장에서는 전자파 차단성능에 대한 거짓·과장 광고 제품으로부터 소비자를 보호하고 올바른 정보를 제공하기 위하여 시중에 유통 중인 전자파 차단 제품에 대한 광고내용 등을 모니터링하고, 그 중 차단 효과가 의심되는 9개 제품을 선정하여 성능검증을 실시하였다. 그 결과, 공유기 안테나 커버는 전기장 차단 효과와 함께 공유기의 통신성능까지 떨어뜨리는 현상이 있었으며, 나머지 제품은 전자파 차단 효과가 전혀 없거나, 일부 전기장에 대해서만 차단 효과가 있었다.

따라서 9개 제품 모두 제대로 된 전자파 차단성능은 갖추지 못한 것으로 확인되었으며, 현재 판매를 중단하고 홈페이지에 전기장 차단 효과만 있는 것으로 광고가 수정된 담요 판매업체를 제외한 나머지 8개 제품 판매업체에 대해서는 공정거래위원회로 전자파 차단효과 거짓·과장 광고에 대한 판단과 그에 따른 법적 제재(행정처분)를 의뢰한 상태이다.

앞으로도 다양한 정보통신기기 개발과 함께 전자파 차단제품도 꾸준히 유통될 것으로 예상되므로 지속적인 모니터링 활동과 함께 차단효과 검증과 관련한 데이터를 DB화하여 제품 특성에 따라 체계화된 성능검증 방법을 마련하는 등 거짓·과장 광고 전자파 차단제품에 대하여 적극적으로 대응하고 관리할 예정이다.

제6장 고속 SAR 불확정도 개선방안 연구

제1절 개요

고속 전자파흡수율(SAR) 측정시스템을 이용한 전자파흡수율 측정방법 연구와 관련하여 국립전파연구원에서는 '15년부터 지속적으로 연구를 진행해 왔다. 특히 '17년에는 국내 전자파흡수율 측정방법에 적용방법을 검토하기 위하여 고속 SAR 측정시스템의 유효성 검사 방법 연구와 실제 휴대전화 측정을 통한 고속 SAR 측정지침 마련 연구 등을 검토하였다. 하지만, 고속 SAR 측정시스템을 이용한 전자파흡수율 측정방법을 마련하기에는 아직 측정시스템의 불확정도 개선이라는 문제점이 있다. 현재 고속 SAR 측정시스템은 한국, 스위스, 프랑스 3대 제품이 상용화되고 있으며, 3대 제품이 서로 다른 계산 알고리즘과, 프로브의 특성을 사용하고 있어 서로 다른 불확정도, 불확정도 산출 방법 등을 가지고 있다. 서로 다른 3대 시스템을 하나 시스템으로 가정하고 불확정도를 개선 및 산출하는 것은 어려운 문제이다. 특히, 각 시스템의 불확정도 산출방법에 따른 개선은 각 제조사의 기술력에 따라 많이 달라 질수가 있기 때문에 하나의 공통된 고속 SAR 측정시스템의 불확정도 개선 사항을 만들기는 실질적으로 어려운상황이지만, 향후 고속 SAR 측정시스템을 이용한 전자파흡수율 측정방법 마련을 위하여 각 제조사에서 제공하고 있는 불확정도와, 국제 표준에서 논의 되고 있는 불확정도 인자, 그리고 국내 정규 SAR 측정시스템의 불확정도 인자를 서로 검토하여 고속 SAR 측정시스템의 불확정도를 개선시킬 수 있는 방법을 모색하는 것이 필요하다.

이러한 방법을 연구하기 위하여 본 연구에서는 각 제조사 측정시스템의 불확정도 인자와 국내·외 표준문서를 검토하여 고속 SAR 측정시스템의 신뢰성 개선 방안 마련을 검토하였다.

제2절 고속 SAR 측정시스템의 국내·외 표준문서

고속 SAR 측정시스템의 신뢰성 개선 방안 마련을 위하여 각 제조사의 시스템별 불확정도 산출 방법을 비교하였다. 현재 상용화되고 있는 고속 SAR 시스템 3대에 대하여 제조사에 제시하고 있는 불확정도 인자를 검토한 결과 3

대(A,B,C)의 고속 SAR 측정시스템은 공통적으로 제조사의 기술개발 능력에 따른 불확정도, 전자파 흡수율 측정 방법 관련 표준에서 제시하고 있는 규격 정보에 따른 불확정도 인자로 구성 되어있는 것을 확인 할 수 있었다. 각 제조사의 기술개발 능력에 따른 불확정도 인자는 표 6-1에 나타낸 것처럼 교정, 변조 신호별 응답신호, 시스템이 선형성, 후처리등 대다수의 제조사에서만 개선할 수 있는 시스템의 성능평가 인자들로 구성되어 있다.

[표 6-1] 제조사에서 제시하고 있는 고속 SAR 시스템 불확정도(1)

비고	Uncertainty component
1	probe calibration
2	Isotropy
3	Boundary Effects
4	Linearity
5	System Detection Limits
6	Modulation response
7	Readout Electronics
8	Response Time
9	Integration Time
10	RF Ambient Noise
11	RF Ambient Reflection
12	Sensor positioning tolerance
13	Sensor location sensitivity
14	Spatial resolution, x-y direction
15	Post-processing of measurement data
16	Sensor mutual coupling
17	Sensor coupling with DUT
18	Measurement system immunity

또한 규격정보에 따른 불확정도 인자로는 표 6-2에 나타낸 것처럼 측정시료를 거치하는 거치대, 모의 인체 용액 유전율 및 도전율, 실험실 온도 등 전자파흡수율을 측정하기 위한 일반적인 실험실 요건 및 하드웨어의 규격정보들로 구성되어 있다.

[표 6-2] 제조사에서 제시하고 있는 고속 SAR 시스템 불확정도(2)

비고	Uncertainty component
1	Test sample positioning
2	Device Holder
3	Output power variation SAR drift measurement
4	SAR scaling
5	Phantom shell Uncertainty
6	Deviations in phantom shape
7	Uncertainty in SAR correction for deviations in permittivity and conductivity
8	Liquid Conductivity(meas.)
9	Liquid Permittivity(meas.)
10	Liquid Conductivity-temperature uncertainty
11	Liquid Permittivity- temperature uncertainty
12	Spatial variation in conductivity
13	Spatial variaton in permittivity

위의 표 6-1, 6-2에 나타난 것처럼 고속 SAR 측정시스템은 크게 측정시스템 자체 성능평가에 대한 불확정도와 규격정보에 따른 불확정도 2가지로 크게 분류가 되며, 현재 3대의 고속 SAR 측정시스템의 경우 서로 다른 주파수 대역별로 불확정도를 산출하고 있다.

A사에서 제공되고 있는 불확정도의 경우 639 MHz ~ 1 GHz, 1 GHz ~ 3 GHz, 3 ~ 5 GHz, 5 GHz ~ 6 GHz 4개 대역으로 구분하고 있으며, 다른 시스템보다 상대적으로 시스템 교정 변조신호의 프로브 응답 특성, 경계효과, 거치대 특성 등이 높은 수치를 보이고 있다. 표 6-3에서는 A사에서 제공하고 있는 불확정도 수치중 상대적으로 높은 불확정도 인자의 수치를 보여주고 있으며, 머리모의 인체기준으로 1g, 10g에 값을 나타내고 있다.

[표 6-3] A사의 측정시스템의 불확정도 인자

불확정도 인자	주파수	불확정도	
		1g	10g
Calibration of the measurement equipment	639 MHz ~ 1 GHz	7.08	7.08
	1 GHz ~ 3 GHz	8.39	8.39
	3 GHz ~ 5 GHz	9.76	9.76
	5 GHz ~ 6 GHz	10.76	10.76
Modulation response	639 MHz ~ 1 GHz	1.95	1.95
	1 GHz ~ 3 GHz	1.52	1.52
	3 GHz ~ 5 GHz	1.42	1.42
	5 GHz ~ 6 GHz	1.52	1.52
Boundary effect	639 MHz ~ 1 GHz	5.00	5.00
	1 GHz ~ 3 GHz	4.00	4.00
	3 GHz ~ 5 GHz	2.00	2.00
	5 GHz ~ 6 GHz	1.00	1.00
probe or probe-array Coupling with DUT	639 MHz ~ 1 GHz	4.00	4.00
	1 GHz ~ 3 GHz	3.20	3.20
	3 GHz ~ 5 GHz	2.40	2.40
	5 GHz ~ 6 GHz	2.00	2.00

B사의 경우에는 불확정도 산출 주파수 대역을 3 GHz 이하, 3 ~ 6 GHz 2개 대역으로 구분하여 제공하고 있으며, 다른 시스템보다 상대적으로 교정, 프로브 산란, 후처리 과정에서 높은 불확정도를 보이고 있다. C사의 경우에는 주파수 대역에 상관없이 불확정도를 산출하고 있어 A, B사의 제품보다 높은 불확정도를 보이고 있다. 표 6-4에서는 B, C사의 불확정도 인자를 나타내고 있다. 이처럼 현재 상용화 되고 있는 3대의 고속 SAR 측정시스템은 불확정도를 산출하는 주파수 범위와 불확정도 인자가 서로 달라 시스템간의 직접적인 비교가 어렵다. 따라서 현재 고속 SAR 측정시스템간의 불확정도를 비교하기 위해서는 국내전자파흡수율 측정기준 고시에서 제시하고 있는 정규 전자파 흡수율 측정기기의 불확정도 평가표를 기준으로 비교할 방법밖엔 없다. 3절에서는 국내에서 제시하고 있는 불확정도 평가표와 제조사에서 제시하고 있는 불확정도 평가표를 비교하여 고속 SAR 측정시스템의 불확정도를 개선할 수 있는 방안에 대하여 기술하고 있다.

[표 6-4] B,C사의 측정시스템의 불확정도 인자

B사 측정시스템			
불확정도 인자	주파수	불확정도	
		1g	10g
Calibration of the measurement equipment	3 GHz 이하	11.70	11.70
	3 GHz ~ 6 GHz	13.00	13.00
Scattering within array	3 GHz 이하	2.90	2.90
	3 GHz ~ 6 GHz	2.90	2.90
Postprocessing, d \geq 5mm	3 GHz 이하	3.50	3.50
	3 GHz ~ 6 GHz	3.50	3.50
Phantom shape	3 GHz 이하	1.00	2.90
	3 GHz ~ 6 GHz	2.90	2.90
C사 측정시스템			
불확정도 인자	불확정도		
	1g	10g	
probe calibration	13.38	13.38	
Isotropy	8.50	8.50	
Integration Time	3.85	3.85	
Post-processing of measurement data	4.53	4.53	
Sensor mutual coupling	4.38	4.38	
Device Holder	17.00	17.00	
Phantom shell Uncertainty	4.71	4.71	
Liquid Conductivity(meas.)	12.25	12.25	

제3절 시스템별 불확정도 인자 비교 및 불확정도 평가표 개선방안

2절에서 기술한바와 같이 고속 SAR 측정 시스템간의 불확정도 인자 비교

및 검토한 결과 현재 상용화되고 있는 3대의 고속 SAR 측정시스템에서 고려되는 불확정도 인자는 제조사별로 달라 고속 SAR 측정시스템간의 불확정도 인자에 대한 직접적인 비교는 어렵다. 그래서 이번 3절에서는 국내의 전자파 흡수율 측정기준 고시의 정규 SAR 측정 시스템에 대한 불확정도 평가표를 기준으로 불확정도 인자를 비교하였으며, 향후 고속 SAR 측정시스템을 이용한 측정방법 마련시 활용될 수 있는 고속 SAR 측정시스템의 불확정도 평가표(안)을 마련을 하였다. 또한, 교정 또는 알고리즘 등 제조사에서 줄일 수 있는 불확정도 인자를 제외하고 실질적으로 연구원에서 제안할 수 있는 불확정도 개선 방안에 대하여 검토하였다.

측정시스템 3대의 제조사에서 제공하는 불확정도 인자 및 수치를 검토해본 결과 공통적으로 Calibration(교정)에서 약 10 ~ 13 %의 서로 다른 불확정도를 보이고 있다. 이는 아직 국제표준에서 Calibration(교정)방법뿐만이 아니라 불확정도 오차범위가 정해지지 않아 제조사 마다 서로 다른 교정 방법을 통하여 불확정도를 산출하고 있어 오차범위가 높은 것으로 확인된다. 이는 제조사의 교정등 불확정도 측정 기술 개발 능력에 따라 불확정도 오차범위가 달라질수 있기 때문에 개선 방안을 제시하기는 어렵다. 하지만, 2절에서 설명했던 각 제조사의 기술력이 포함되어 있는 불확정도 인자가 아닌 규격정보에 따른 불확정도 인자 중 Device holder 항목의 불확정도 인자가 각 제조사에서 제시하는 불확정도가 다르며, Device holder의 불확정도의 경우 측정 단말기가 거치되는 위치에 따라 최대 불확정도가 17 %까지 나타낼수 있다. 표 6-5에서는 각 제조사별 Device holder의 불확정도 수치를 나타내고 있으며, 이는 휴대전화 기기 거치방법에 측정될 수 있는 최대 불확정도를 나타내고 있다.

[표 6-5] B,C사의 측정시스템의 Device holder의 불확정도 인자

제조사		불확정도	
		1g(±%)	10g(±%)
A사		17	17
B사	639 MHz ~ 1 GHz	1.98	2.04
	1 GHz ~ 3 GHz	1.98	2.04
	3 GHz ~ 5 GHz	1.98	2.04
	5 GHz ~ 6 GHz	1.98	2.04
C사	3 GHz 이하	0.00	0.00
	3 GHz ~ 6 GHz	0.00	0.00

표 6-5중 C사에서 제시한 Device holder 불확정도의 경우 A사와 B사와 달리 0 %로 제공되고 있지만, 이는 측정자의 숙련도와 측정대상기기의 안테나 위치등 대상기기의 이해도에 따라 충분히 달라질 수 있다. 고속 SAR 측정시스템의 Device holder에 대한 불확정도 기준은 아직 국제적으로 정해진 규격이 없어, 현재 비교할 대상으로는 국내 전자파흡수율 측정기준 고시에서 다루는 Device holder의 불확정도를 기준밖에 없다. 표6-6에서는 국내 전자파흡수율 측정기준 고시에서도 다루고 있는 불확정도 기준을 나타내고 있으며, 국내 전자파 흡수율고시에서는 Device holder의 유무, 특정형태 대상기기에 대한 Device holder의 불확정도를 고려하고 있다.

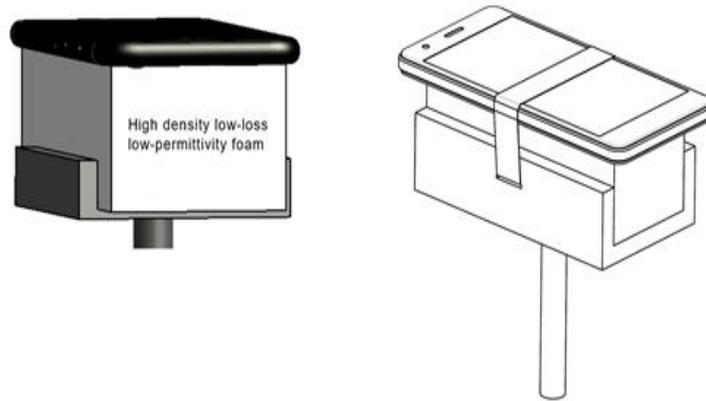
[표 6-6] 국내 전자파흡수율 측정기준의 Device holder 불확정도 기준

Device holder의 불확정도 요소(정규 SAR 시스템기준)			
순번	항 목	내 용	비고
1	일반사항	거치대 유무에 따른 불확정도 산출	오차범위 고정
2	특정한 피시험 기기에 대한 기기 지지대 섭동 불확정도 : B형	측정대상기기가 특정한 구성에서 동작될 때 거치대의 유전율과 도전율에 반응하는 불확정도, 이때 Grip형태는 고정	환경에 따라 변화
3	특정한 형태의 피시험 기기들의 기기 지지대 섭동 불확정도 : A형	Grip 형태의 거치대가 측정자에 따라 달라져 대상기기들이 서로 다른 오차를 보일 수 있음	

국내 전자파흡수율 측정기준 고시에서 다루고 있는 Device holder의 불확정도를 살펴보면, Device holder가 GRIP 형태일 때의 유전율과 도전율, 그리고 Grip 형태의 거치대가 측정자에 따라 달라져 대상기기들이 서로 다른 오차를 보일 수 있다고 명시되어 있다. 이는 전자파흡수율 측정대상기기 즉, 휴대전화기의 안테나의 위치가 기기마다 다르기 때문에 측정자가 이를 거치하는 방법에 따라 달라질 수 있는 것을 나타낸다. 이처럼 GRIP 형태의 Device holder의 경우 측정대상기기의 안테나의 위치와 측정자의 숙련도에 따라 불확정도는 높게 나타날 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 GRIP 형태의 Device holder가 아닌 거

치 및 부착하는 형태의 Device holder가 개발되어야 한다. 실제로 IEC TC 106에서는 현재 GRIP 형태의 Device holder가 아닌 부착식 형태의 Device holder를 국제표준에 넣는 것을 고려하고 있다.



[그림 6-1] 국제표준에서 논의되고 있는 부착형태의 Device holder

이처럼 제조사의 기술력에 따라 산출되는 불확정도 인자를 제외하고, 고속 SAR 측정시스템의 불확정도를 줄일 수 있는 방법으로는 Device holder를 개선함으로써 불확정도를 줄일 수가 있다. 고속 SAR 측정시스템의 불확정도를 개선할 수 있는 또 다른 방법은 향후 고속 SAR 측정시스템을 이용한 전자파흡수율 측정방법 마련을 고려하여 불확정도 평가표를 제안하는 방법이 있다. 하지만 현재 고속 SAR 측정시스템의 불확정도 평가표는 측정방법과 마찬가지로 아직 국제적으로도 마련되어 있지 않아, 이를 제안하는 방법으로는 현재 국내 전자파흡수율 측정기준의 불확정도 평가표를 개선하는 방법이 있다. 표 6-7에서는 국내 전자파흡수율 측정기준 고시의 휴대 단말기의 SAR 측정에 대한 측정 불확정도 평가표를 보여주고 있으며, 각각의 불확정도 수치 기준을 나타내고 있다.

[표 6-7] 국내 전자파흡수율 측정기준 불확정도 평가표

A	b	c	d	$e = f(d, k)$	f	g	$h = c \otimes f / e$	$l = c \otimes g / e$	k
불확정도 소스	설명	불확정도값 ±%	확률 분포	제수	c_1 (1 g)	c_1 (10 g)	표준 불확정도 ±%,(1g)	표준 불확정도 ±%,(10g)	v_1 또는 v_{eff}
측정 시스템									
프로브 교정	7.2.1		N	1	1	1			∞
등방성	7.2.1.2		R	√3	1	1			∞
경계 효과	7.2.1.5		R	√3	1	1			∞
선형성	7.2.1.3		R	√3	1	1			∞
검출 제한치	7.2.1.4		R	√3	1	1			∞
전자 판독	7.2.1.6		N	1	1	1			∞
응답 시간	7.2.1.7		R	√3	1	1			∞
적분 시간	7.2.1.8		R	√3	1	1			∞
RF 환경조건 - 잡음	7.2.3.6		R	√3	1	1			∞
RF 환경조건 - 반사	7.2.3.6		R	√3	1	1			∞
프로브 위치제어기의 기계적 제약	7.2.2.1		R	√3	1	1			∞
모의인체 외피에 대한 프로브 위치 결정	7.2.2.3		R	√3	1	1			∞
후처리	7.2.4		R	√3	1	1			∞
시험 샘플 관련									
시험 샘플 위치 결정	7.2.2.4		N	1	1	1			M-1
피시험기기 거치대 불확정도	7.2.2.4.2		N	1	1	1			M-1
출력 전력의 편이	7.2.3.5		R	√3	1	1			∞
모의인체 및 설정									
모의인체 불확정도 (외형 및 두께 오차)	7.2.2.2		R	√3	1	1			∞
액체 도전율(목표값)	7.2.3.3		R	√3	0.64	0.43			∞
액체 도전율(측정값)	7.2.3.3		N	1	0.64	0.43			M
액체 유전율(목표값)	7.2.3.4		R	√3	0.6	0.49			∞
액체 유전율(측정값)	7.2.3.4		N	1	0.6	0.49			M
합성 표준 불확정도			RSS						
확장 불확정도 (95 % 신뢰구간)									

국내 전자파흡수율 측정기준에서 설명하고 있는 불확정도 평가표는 크게 측정시스템, 시험 샘플관련, 모의 인체 및 설정 3가지로 구성되어 있다. 첫 번째 측정시스템에 대한 평가는 전자파흡수율 측정 프로브 교정, 프로브의 등방성, 후처리 등 전자파흡수율 측정시스템의 성능에 대하여 평가하도록 명시되어 있으며, 두 번째인 시험샘플 관련 내용으로는 Device holder의 불확정도와 시험 샘플위치 결정, 출력 전력의 편이가 포함되어 있다. Device holder의 불확정도는 유전율과, 도전율의 오차범위에 따라 결정되어지며, 시험 샘플위치 결정은 측정자의 측정 숙련도와 측정대상기기에 따른 측정이해도에 따라 달라질 수가 있다. 또한 출력전력의 편이는 전자파흡수율 측정 시 시간변화에 따라 측정 안테나(프로브)의 출력이 떨어지게 되어 전자파흡수율 측정값에 오차가 발생하는 것을 의미하고 있다. 세 번째 모의인체 및 설정에 대한 평가는 머리, 몸통 모의 인체의 유전율과 도전율 그리고 모의인체 외형의 두께 오차 등이 포함이 된다.

고속 SAR 측정시스템의 불확정도 평가관련 문서는 아직 정식 국제표준문서로 발간되지는 않았지만, 고속 SAR 측정시스템의 규격 등에 대한 내용이 정리되어 있는 임시표준문서 IEC 63151에서는 고속 SAR 측정시스템의 불확정도 평가에 대하여 크게 4가지로 분류하고 있다. 첫 번째, 제조사가 명시해야 하는 측정시스템 불확정도로 측정 시스템 내부의 프로브간이 간섭 및 안테나 특성에 대한 불확정도를 나타내고 있으며, 두 번째는 사후처리 알고리즘 불확정도로 1g, 10g의 전자파흡수율 계산 시 알고리즘의 불확정도를 포함하고 있다. 세 번째, DUT 즉, 측정대상기기에 따른 측정시스템 오차로 측정대상기기의 위치, 신호변조, 안테나 센서와 배열간의 특성등 대상기기에 따라 측정시스템의 변화되는 오차를 포함하고 있으며, 네 번째는 측정대상기기의 환경 등에 대한 인자로, DUT의 홀더 측정자의 오차 등을 기술하도록 되어 있다. 이와 같은 내용은 표 6-8에 나타내었으며, 임시표준문서에서는 4개의 항목에 따라 약 30개의 불확정도 인자를 구성하고 있다.

[표 6-8] 고속 SAR 측정시스템 임시표준문서(IEC 63151 PAS) 불확정도

Device holder의 불확정도 요소(정규 SAR 시스템기준)		
순 번	항 목	내 용
1	제조사가 명시해야 하는 측정시스템 불확정도	측정시스템 내부 프로브간의 간섭 및 안테나 특성에 대한 불확정도가 기술
2	특정한 피시험 기기에 대한 기기 지지대 섭동 불확정도 : B형	1g,10g의 전자파흡수율 계산시 내삽, 외삽, 평균값등 계산 알고리즘의 불확정도를 기술
3	특정한 형태의 피시험 기기들의 기기 지지대 섭동 불확정도 : A형	기기위치, 신호변조, 안테나 센서와 배열간 특성등 기기에 따른 측정시스템의 변화되는 오차를 기술
4	DUT 및 환경 등에 대한 인자	DUT 홀더, 사용자의오차,주변 환경등에 대한 불확도를 기술

고속 SAR 측정시스템 임시표준에서 구성하고 있는 불확정도의 인자와 국내 전자파흡수율 측정기준 불확정도 평가표의 구성을 단순 비교해보면, 고속 SAR 측정시스템보다 항목이 더 추가한 것으로 판단될 수 있다. 하지만, 실제 포함되는 내용을 확인을 해보면 임시표준에서 정의하고 있는 고속 SAR 측정시스템의 불확정도와 국내 전자파흡수율 측정시스템의 불확정도 내용은 크게 다르지 않는 것을 확인할 수 있다. 물론 향후에 고속 SAR 측정시스템을 이용한 전자파흡수율 측정방법 국제표준이 만들어 진다면 추가적으로 불확정도 인자가 추가되어야 하지만, 현재로서는 국내 전자파 흡수율 측정기준의 불확정도 평가표와 구성 요소는 크게 다르지 않다. 또한 실제 운영되는 정규 SAR 측정시스템과 고속 SAR 측정시스템은 사후 계산(처리)알고리즘과 계산 방법이 매우 유사하다.

국내의 전자파흡수율 측정기준의 불확정도 평가표와 고속 SAR 측정시스템 제조사에서 제시하고 있는 불확정도 표의 가장 큰 차이점은 주파수대역에 대한 분류이다. 즉, 국내의 전자파흡수율 측정기준의 불확정도 평가표는 주파수대역의 구분 없이 불확정도 계산 및 평가 하도록 되어 있어 다중프로브를 사용하는 고속 SAR 측정시스템의 경우에는 주파수 대역에 따른 프로브 간섭영향으로 상대적으로 불확정도가 높을 수가 있다. 표 7-9 제안하는 불확정도 평가표로 불확정도 평가표 작성 시 주파수 범위를 3 GHz 이하 3 ~ 6 GHz 로 구분하여 작성 하도록 제안 되어 있다. 이는 주파수 대역을 좀 더 세분화 하

여 불확정도 평가표를 작성하는 것이 불확정도를 낮추는데 도움이 될 수 있다. 하지만 본 연구에서는 주파수 범위에 따른 불확정도 연구는 수행하지 않았으며, 주파수 범위에 구분에 따른 고속 SAR 측정시스템의 불확정도 산출 방법은 향후 추가적인 연구가 필요한 상황이다.

[표 6-9] 고속 SAR 측정시스템 불확정도 평가표(안)

고속 전자파흡수율 시스템 불확정도 평가표									
<i>A</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	$\frac{e}{f(d, k)}$	<i>f</i>	<i>g</i>	$\frac{h}{c \otimes f / e}$	$\frac{l}{c \otimes g / e}$	<i>k</i>
불확정도 소스	설명	불확정도값 ±%	확률 분포	제수	c_1 (1 g)	c_1 (10 g)	표준 불확정도 ±%,(1g)	표준 불확정도 ±%,(10g)	V_i 또는 V_{eff}
측정 시스템									
3GHz 이하	프로브 교정		N	1	1	1			∞
	등방성		R	√3	1	1			∞
	경계 효과		R	√3	1	1			∞
	선형성		R	√3	1	1			∞
	검출 제한치		R	√3	1	1			∞
	전자 판독		N	1	1	1			∞
	응답 시간		R	√3	1	1			∞
	적분 시간		R	√3	1	1			∞
	RF 환경조건 - 잡음		R	√3	1	1			∞
	RF 환경조건 - 번사		R	√3	1	1			∞
	프로브 위치제어의 기계적 제약		R	√3	1	1			∞
	모의인체 외피에 대한 프로브 위치 결정		R	√3	1	1			∞
후처리		R	√3	1	1			∞	
3-6 GHz	프로브 교정		N	1	1	1			∞
	등방성		R	√3	1	1			∞
	경계 효과		R	√3	1	1			∞
	선형성		R	√3	1	1			∞
	검출 제한치		R	√3	1	1			∞
	전자 판독		N	1	1	1			∞
	응답 시간		R	√3	1	1			∞
	적분 시간		R	√3	1	1			∞
	RF 환경조건 - 잡음		R	√3	1	1			∞
	RF 환경조건 - 번사		R	√3	1	1			∞
	프로브 위치제어의 기계적 제약		R	√3	1	1			∞
	모의인체 외피에 대한 프로브 위치 결정		R	√3	1	1			∞
후처리		R	√3	1	1			∞	

시험 샘플 관련										
3GHz 이하	시험치 샘플링	7.2.2.4		N	1	1	1			M-1
	피시험기기 거치대 불확정도	7.2.2.4.2		N	1	1	1			M-1
	출력 전력의 편이	7.2.3.5		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
3-6 GHz	시험치 샘플링	7.2.2.4		N	1	1	1			M-1
	피시험기기 거치대 불확정도	7.2.2.4.2		N	1	1	1			M-1
	출력 전력의 편이	7.2.3.5		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
모의인체 및 설정										
3GHz 이하	모의인체 불확정도 (외형 및 두께 오차)	7.2.2.2		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
	액체 도전율 (목표값)	7.2.3.3		R	$\sqrt{3}$	0.64	0.43			∞
	액체 도전율 (측정값)	7.2.3.3		N	1	0.64	0.43			M
	액체 유전율 (목표값)	7.2.3.4		R	$\sqrt{3}$	0.6	0.49			∞
	액체 유전율 (측정값)	7.2.3.4		N	1	0.6	0.49			M
	합성 표준도			RSS						
	확장 불확정도 (95 % 신뢰구간)									
3-6 GHz	모의인체 불확정도 (외형 및 두께 오차)	7.2.2.2		R	$\sqrt{3}$	1	1			∞
	액체 도전율 (목표값)	7.2.3.3		R	$\sqrt{3}$	0.64	0.43			∞
	액체 도전율 (측정값)	7.2.3.3		N	1	0.64	0.43			M
	액체 유전율 (목표값)	7.2.3.4		R	$\sqrt{3}$	0.6	0.49			∞
	액체 유전율 (측정값)	7.2.3.4		N	1	0.6	0.49			M
	합성 표준도			RSS						
	확장 불확정도 (95 % 신뢰구간)									

제안한 고속 SAR 측정시스템의 불확정도 평가표의 경우는 아직 고속 SAR 측정시스템의 표준이 완성이 되지 않은 상태에서 정규 SAR 측정시스템의 불확정도 평가표의 내용을 반영한 것으로 향후 고속 SAR 측정시스템의 국제표준이 만들어지게 되면, 고려해야 될 불확정도 인자를 검토하여 제안하는 불확정도 평가표에 추가할 필요성이 있다.

제4절 향후계획

고속 SAR 측정시스템을 이용한 전자파흡수율 측정방법 연구는 국내뿐만이 아니라 국제적으로 전자파흡수율 측정방법 분야의 가장 큰 이슈로 진행되어 논의되고 있으며, 특히 우리나라에서는 5G 통신 서비스 시작으로 휴대전화 SAR 적합성 평가 시 소요되는 인증 시간과 비용에 대한 문제점은 커질 수밖에 없다. 이에 따라 국립전파연구원에서는 2019년에도 고속 SAR 연구반 운영 및 자체연구 수행을 통하여 고속 SAR 측정시스템을 이용한 간소화 방법 등 고속 SAR 측정시스템을 이용한 효율적인 측정방법 마련을 위한 연구를 계속 진행할 예정이다.

제7장 맺음말

본 연구보고서에서는 5G 이동통신 기술이 적용된 휴대전화의 전력밀도 측정방법, 5G 빔포밍 기술이 적용된 무선기지국의 전자파강도 측정방법을 마련하였다. 측정방법은 수치해석 분석결과와 측정결과를 상호 비교 검증하였다. 특히 5G 휴대전화의 전력밀도 측정방법은 전력밀도를 측정할 수 있는 상용화된 측정 장비가 개발되지 않아, 기존의 전자파흡수율 측정시스템을 이용하여 전력밀도를 평가하는 방법을 마련하였다. 5G 빔포밍 기술이 적용된 무선기지국의 전자파강도 측정방법은 빔포밍 기술의 특성을 고려하여 기존 무선기지국의 전자파강도 측정방법을 보완하고 무선기지국의 기준신호를 측정하여 최악조건을 전자파강도를 평가하는 방법을 추가하여 빔포밍 신호 특성에 부합하도록 하였다. 또한 RF 펄스형 신호를 갖는 무선국의 전자파강도 측정방법은 '17년도에 제시한 이론적 평가방법을 실제 환경에서 검증하고 계측기의 설정 조건들을 추가 보완하여 측정결과의 신뢰성을 높였다. 5G 이동통신 기술이 적용된 휴대전화 및 무선기지국의 측정방법과 RF 펄스형 신호를 갖는 무선국의 전자파강도 측정방법은 2019년 상반기에 행정절차를 통해 최종 고시될 예정이다.

전자파 차단 효과에 대한 거짓·과장 광고 제품에 대한 올바른 정보를 국민들에게 제공하기 위하여, 시중에 유통 중인 전자파 차단제품을 모니터링하고 차단효과가 의심되는 9개 제품을 선정하여 성능을 검증한 결과를 공정거래위원회에 신고하였다. 신고한 9개 제품을 판매한 업체들에게 법적제재(행정처분)가 조치될 예정이며, 우리원에서는 지속적으로 일반국민들이 전자파 관련 정보를 정확히 알고 거짓·과장광고 제품에 현혹되지 않도록 적극적으로 대응하고 관리할 예정이다.

정보통신기술의 발전으로 새로운 통신 방식이 휴대전화에 사용되면서 전자파 인체보호기준에 대한 적합성 평가 측정비용과 시간이 급격히 증가하고 있다. 이러한 시험 비용과 소요시간의 증가는 결국 휴대전화 단말기의 가격상승 요인으로 이어지며, 이를 해결하기 위해서 국내뿐만 아니라 국제적으로 고속 전자파 흡수율 측정시스템 개발이 활발히 논의되고 있다. 특히 우리나라는 5G 이동통신 서비스 상용화를 앞두고 있는 시점에서 5G 휴대전화 SAR 적합성 평가 시 소요되는 인증 시간과 비용도 늘어날 전망이다. 국립전파연구원은

향후 고속 SAR 측정시스템을 이용한 간소화 방법 연구를 통해 규제를 완화하여 5G 서비스가 원활히 보급 될 수 있도록 기여할 것이다. 또한 실생활에서 사용되는 기기를 선정하고, 전자파 노출 환경 및 정보를 공개하여 전자파에 대한 국민들의 궁금증과 불안감 해소에 기여하고자 한다.

참고문헌

1. “전자파 인체보호기준”, 과학기술정보통신부고시 제2017-7호, 2017.8.24.
2. “전자파강도 및 전자파흡수율 측정대상 기자재”, 과학기술정보통신부고시 제2017-7호, 2017.8.24.
4. “전자파흡수율 측정기준”, 국립전파연구원고시 제2017-8호, 2017.8.28
5. “전자파강도 측정기준”, 국립전파연구원고시 제2017-7호, 2017.8.4.
6. 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.
7. 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.
8. IEC 62764-1 “Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical equipment in the automotive environment with respect to human exposure”, 2017.
9. 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
10. 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.
11. FCC OET Bulletin 65 Supplement C, "Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields", 2001.
12. 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)

13. 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)
14. IEC 62577Ed.1 : Basic standard for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields from a stand alone broadcast transmitter (30 MHz - 40 GHz)
15. EN 50420 (2006.8.) Basic standard for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields from stand alone broadcast transmitter (30 MHz - 40 GHz).
16. 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
17. 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
18. 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
19. Bakker J F, Paulides M M, Christ A, Kuster N and Rhon 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
20. JASO TP-13002, “自動車の人体ばく露に関する電磁界測定方法”, 2

미래전파 환경 변화에 따른 전자파 인체보호 연구



국립전파연구원
National Radio Research Agency

(58323) 전남 나주시 빛가람로 767

발행일 : 2019. 3.

발행인 : 전영만

발행처 : 국립전파연구원

전화 : 061) 338-4414

인쇄 : (사)한국척수장애인협회 광주전남인쇄사업소
062) 222-2788

ISBN : 979-11-5820-116-6

〈 비 매 품 〉

주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.