

전자파 인체영향 환경 대응 및 역량강화 연구

2017. 12.



국립전자파연구원

제 출 문

본 보고서를 「전자파 인체영향 환경 대응 및 역량강화 연구」
과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2017. 12. 31.

연구책임자 : 권 용 기(전파환경안전과 전자파안전담당)
연구원 : 최 동 근(전파환경안전과 전자파안전담당)
이 중 일(전파환경안전과 전자파안전담당)
장 주 동(전파환경안전과 전자파안전담당)
김 재 웅(전파환경안전과 전자파안전담당)

요 약 문

최근, 정보통신기술이 급속히 발전함에 따라 우리생활 전반에서 휴대전화를 비롯한 무선통신기기의 이용이 보편화되고 있으며, 언제 어디서 누구와도 통신할 수 있는 편리한 통신 환경을 제공하고 있다. 그러나 이와 같이 편리한 전자통신 이용환경 이면에는 전자파에 대한 우려와 불안감이 상존하는 것이 우리의 현실이다. 이러한 문제점을 해소하고자 국립전자파연구원에서는 안전한 전자파 이용환경 조성을 위하여 다양한 연구를 수행하였다.

최근 펄스형 고출력 무선국에서 발생하는 전자파의 인체안전 문제가 사회적 이슈로 대두함에 따라, 국립전자파연구원에서는 펄스형 고출력 무선국에서 발생하는 전자파의 인체보호기준 준수 여부를 평가하는 방법 중 하나로 스펙트럼분석기를 이용해 펄스형 신호의 전자파강도를 측정하는 방법을 제시하였다. 이를 위해 실험실 환경과 실제 무선국 운용 환경에서 펄스형 전자파의 전자파강도를 측정하고 이를 분석하여 펄스형 전자파의 인체보호기준 준수여부를 평가할 수 있는 측정방법(안)을 마련하였다.

한편 정부의 친환경 자동차 보급 정책 등으로 전기자동차 및 자율주행 자동차 산업이 빠르게 발전할 것으로 예상됨에 따라 전기자동차에서 발생하는 전자파로부터 인체를 보호하기 위하여 전기자동차의 전자파 인체노출량 측정방법을 연구하였다. 이를 위해 국제표준(IEC-62764-1)과 일본 산업자율기준(JASO)을 조사·분석하였고 실제 국내·외 전기자동차를 대상으로 전기자동차 내부에서 발생하는 전자파를 측정하였으며 이를 이용해 전기자동차의 전자파 인체노출량 측정방법(안)을 마련하였다.

이동통신기술 발전으로 휴대전화에서 이용되는 통신방식과 신호모드가 다양화, 복잡화됨에 따라 휴대전화의 SAR 적합성 평가를 위한 측정방법과 측정시간도 이에 비례하여 증가하고 있다. 이처럼 적합성 평가를 위한 측정시간의 증가는 적합성 평가비용 증가를 의미하며 이는 결국 휴대전화 단말기의 가격상승으로 귀결된다. 따라서 국립전자파연구원에서는 휴대전화의 적합성 평가에 소요되는 SAR 측정시간을 단축하기 위하여 고속 SAR 측정시스템을 적합성 평가에 활용하는 방안을 연구하여 정규 SAR 측정 절차 중 일부를 대체할 수 있는 방안을 제시하였으며 이를 반영하여 전자파흡수율 측정지침 개정(안)을 마련하였다.

목 차

| | |
|---------------------------------------|----|
| 제1장 서론 | 1 |
| 제2장 펄스형 전자파의 인체노출량 평가방법 연구 | 2 |
| 제1절 펄스형 전자파의 인체보호기준 | 2 |
| 제2절 펄스형 전자파 신호특성 분석 | 8 |
| 제3절 스펙트럼분석기를 이용한 펄스형 신호 측정방법 | 12 |
| 제4절 결론 및 향후 계획 | 25 |
| 제3장 전기자동차 전자파 인체영향 평가방법 연구 | 26 |
| 제1절 추진 배경 | 26 |
| 제2절 국외 동향 | 27 |
| 제3절 전기자동차 자기장 측정 | 28 |
| 제4절 전기자동차 자기장 측정방법(안) | 31 |
| 제5절 결론 및 향후 계획 | 33 |
| 제4장 고속 SAR 측정방법 연구 | 34 |
| 제1절 개요 | 34 |
| 제2절 고속 SAR 측정시스템 유효성 평가방법 연구 | 36 |
| 제3절 고속 SAR 측정 지침 마련을 위한 연구 | 41 |
| 제4절 향후 계획 | 45 |
| 제5장 맺음말 | 46 |
| 참고문헌 | 47 |
| 붙임 1 스펙트럼분석기를 이용한 펄스형 전자파 측정방법(안) ... | 49 |
| 붙임 2 전기자동차의 자기장 측정방법 | 53 |

표 목 차

| | |
|--|----|
| 표 2-1 ICNIRP 전자기장 인체보호기준(일반인, 실험치) | 4 |
| 표 2-2 ICNIRP 전자기장 인체보호기준(직업인, 실험치) | 5 |
| 표 2-3 전자파강도 기준(일반인) | 6 |
| 표 2-4 전자파강도 기준(직업인) | 7 |
| 표 3-1 자기장 측정 장비 조건 | 29 |
| 표 3-2 전기자동차의 자기장 측정 결과 | 30 |
| 표 3-3 전기자동차의 자기장 측정 시 차량 상태 조건 | 31 |
| 표 4-1 고속 SAR 측정시스템의 유효성 수치해석 결과 | 38 |
| 표 4-2 고속 SAR 5 GHz 대역 측정 대상 및 횟수 | 41 |
| 표 4-3 고속 SAR 5 GHz 대역 측정 결과 | 42 |
| 표 4-4 IEC/IEEE 62209 규격내 Fast SAR 측정절차 | 43 |

그 립 목 차

| | |
|---|----|
| 그림 2-1 펄스형 신호 전자파의 이용 | 2 |
| 그림 2-2 펄스형 전자파 특성 | 9 |
| 그림 2-3 펄스형 신호의 푸리에 변환 | 11 |
| 그림 2-4 SA의 RBW 설정에 따른 측정결과 변화 | 12 |
| 그림 2-5 협대역 RBW를 이용한 선 스펙트럼 모드 측정 | 13 |
| 그림 2-6 선 스펙트럼 측정을 이용한 펄스파의 피크치 환산 방법 | 14 |
| 그림 2-7 펄스 스펙트럼 모드 측정을 위한 RBW 설정 | 16 |
| 그림 2-8 싱크함수 형태의 펄스 스펙트럼 모드 결과 측정 | 16 |
| 그림 2-9 최대값 형태의 측정을 위한 RBW 설정 | 17 |
| 그림 2-10 최대값 형태의 스펙트럼분석기 측정 | 17 |
| 그림 2-11 스펜 제로 모드 측정 결과 | 18 |
| 그림 2-12 중심주파수 및 대역폭 측정 결과 | 20 |
| 그림 2-13 펄스주기(T) 측정 결과 | 21 |
| 그림 2-14 펄스폭(τ) 측정 결과 | 22 |
| 그림 2-15 피크값(E_p) 및 평균값(E_{ave}) 측정 결과 | 23 |
| 그림 3-1 전기자동차 EMF연구반 운영 현황 | 26 |
| 그림 3-2 IEC 62764-1에서 측정 위치를 나타내는 기본 체적 위치 | 27 |
| 그림 3-3 TP-13002에서 제시하는 좌석의 측정 위치 | 28 |
| 그림 4-1 정규 전자파흡수율 측정시스템 | 34 |
| 그림 4-2 상용 고속 전자파흡수율 측정시스템 | 35 |
| 그림 4-3 국내에서 검토된 유효성 검사 위치 | 36 |
| 그림 4-4 국내 고속 SAR 유효성 검사 수치해석 | 37 |
| 그림 4-5 국제표준문서의 유효성 측정방법 위치 | 39 |

제1장 서론

무선통신 기술이 우리의 일상생활 속으로 자리함에 따라 우리의 삶과 생활은 보다 편리하고 윤택해지고 있지만, 무선통신기기에서 발생하는 전자파가 우리의 건강을 위협하지는 않을까 하는 막연한 불안감이 일반 국민들 사이에서 증대하는 것이 현실이다. 따라서 국립전파연구원에서는 다양한 무선기기나 전자기기 등에서 발생하는 전자파로부터 국민의 안전과 생명을 보호하기 위하여 다양한 분야의 인체보호 관련 연구를 수행하고 있다.

펄스형 신호의 고출력 무선국은 배나 비행기와 같이 먼 거리에 있는 물체를 탐지·추적하기 위한 목적으로 주로 사용된다. 이러한 목적의 펄스형 고출력 무선국은 펄스 신호를 간헐적으로 발사함으로 평균값은 높지 않지만 피크값은 상당히 높은 특성을 가진다. 최근 이와 같은 펄스형 고출력 무선국에서 발생하는 높은 피크의 전자파가 인체안전을 위협할 수 있다는 우려가 사회적으로 증대됨에 따라 이에 대한 기준 및 측정방법에 대한 검토가 필요하다. 따라서 본 연구보고서 제2장에서는 펄스형 전자파에 대한 국내·외 인체보호기준을 분석하고 스펙트럼분석기를 이용하여 이를 측정하기 위한 방법을 기술한다.

최근 친환경 자동차 보급 정책 등으로 전기자동차 이용이 급증('17년 11월 기준 약 2만대)함에 따라 전기자동차 이용 환경에서 전자파 인체보호를 위한 대책 마련이 필요하다. 전기자동차는 일반 자동차에 비해 전자파 노출지점이 다양하며 충전기 및 배터리, 모터, 인버터 등에서 전자파가 많이 발생할 것으로 예상된다. 따라서 우리 원에서는 전기자동차에서 발생하는 전자파로부터 인체를 보호하기 위하여 외국 기준 및 국제표준을 조사·분석하고 실제 전기자동차의 전자파 측정 결과를 이용하여 전기자동차의 전자파 인체노출량 측정방법(안)을 마련하였으며 이를 제3장에서 기술한다.

이동통신기술 발전으로 휴대전화에서 이용되는 통신방식과 신호모드가 다양화, 복잡화됨에 따라 휴대전화의 SAR 측정방법과 측정시간도 함께 증가한다. 이와 같이 휴대전화의 적합성 평가시 소요되는 SAR 측정시간을 단축하기 위하여 우리 원에서는 고속 SAR 측정시스템을 이용하는 방안을 검토하였으며 이와 관련한 내용은 제4장에서 기술한다.

제2장 펄스형 전자파의 인체노출량 평가방법 연구

제1절 펄스형 전자파 인체보호기준

펄스형 신호의 전자파는 비행기나 배와 같이 먼 거리에 있는 물체를 탐지하거나 이동 경로 등을 탐지·추적하기 위한 목적으로 주로 이용한다. 즉 짧은 시간동안 발생한 높은 피크치의 전자파를 탐지영역으로 방사하여 탐지영역 내에 탐지 목적의 물체가 존재하는 경우, 해당 물체에 반사되어 되돌아온 신호를 수신·분석하여 물체의 위치와 이동경로 등을 탐지하게 된다.

이와 같이 항공, 해상, 기상용으로 주로 이용되는 펄스형 전자파의 경우, 매우 짧은 시간동안 높은 피크치(E_p)의 전자파를 이용하는데 이 전자파가 물체에 반사되어 되돌아오는 시간을 감안하여 펄스형 신호의 발생주기를 조정한다. 따라서 펄스형 전자파 신호 발생기에서 실제 전파 송신율을 의미하는 듀티 사이클(τ/T)은 통상 매우 작다. 즉 펄스형 신호 전자파의 피크값은 상당히 높더라도 평균 전력은 상대적으로 낮음을 의미한다.



그림 2-1. 펄스형 신호 전자파의 이용

1. 국제 전자파 인체보호기준

전자파에 대한 인체보호기준을 정하여 이를 권고하고 있는 대표적 국제단체로는 ICNIRP(국제비전리복사방호위원회)와 IEEE(전기전자기술자협회)를 들 수 있다. ICNIRP는 1998년 ICNIRP Guidelines 1998(DC ~ 300 GHz)에서 DC ~ 300 GHz 주파수에서의 전자파 인체보호기준을 정하여 권고하고 있으며 IEEE는 IEEE std C95.1(3 kHz ~ 300 GHz)에서 전자파 인체보호기준을 정하여 권고하고 있다. 세계 대부분의 국가는 ICNIRP 또는 IEEE의 전자파인체보호기준을 준용하여 자국의 전자파 인체보호기준으로 정하여 이용하고 있다. 미국을 포함한 북미지역에서는 IEEE std C95.1을 자국 전자파 인체보호기준으로 규정하고 있는 반면, 우리나라, 일본, 유럽 등 북미지역을 제외한 대부분 국가에서는 ICNIRP Guidelines 1998 기준을 준용하여 자국의 전자파 인체보호기준으로 하고 있다.

전자파 인체보호기준은 인체에 근접하여 사용하는 무선기기(즉 휴대용 무선기기)인지 여부에 따라 전자파강도와 전자파흡수율로 기준을 구분하여 정하고 있다. 그러나 여기서는 일반 기지국용 무선국에 적용하는 전자파강도 인체보호기준에 대하여만 기술하고자 한다.

ICNIRP Guidelines 1998에서 규정하는 전자파강도 전자파 인체보호기준은 일반인과 직업인에 따라 표 2-1, 표 2-2와 같이 정하고 있다. 표에서 보는바와 같이 ICNIRP guidelines 1998에서는 전기장과 자기장에 대한 실효치 기준 뿐만 아니라 피크치에 대한 기준도 함께 규정하고 있다. 표 2-1, 표 2-2의 비교에서 규정한 피크치에 대한 ICNIRP 기준을 살펴보면

- 100 kHz 까지 : 실효치에 $\sqrt{2}$ 를 곱한 값
- 100 kHz ~ 10 MHz : 100 kHz에서 1.5배, 10 MHz에서 32배가 되도록 내삽
- 10 MHz 이상 : 실효치 전력밀도의 1000배. 또는 실효치 전기장, 자기장 강도의 32배

즉 펄스형 신호의 전자파가 ICNIRP 전자파 인체보호기준을 만족하기 위해서는 실효치 기준뿐만 아니라 피크치값에 대한 기준도 동시에 만족해야 함을 의미한다.

표 2-1. ICNIRP 전자파 인체보호기준(일반인, 실효치)

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

비고: 1. 100 kHz - 10 GHz 주파수 사이에서, S_{eq} , E^2 , H^2 , B^2 은 임의 6 분간의 평균을 취한다.

2. 100 kHz 까지 주파수에서의 첨두값은 실효치에 $\sqrt{2}$ 를 곱한 값을 적용함

3. 100 kHz 이상 주파수에서의 첨두값은 다음과 같이 적용함

- 100kHz - 10 MHz : 100kHz에서 1.5배, 10 MHz에서 32배가 되도록 내삽

- 10 MHz 이상 : 펄스폭의 시간 평균한 피크 전력밀도는 S_{eq} 값의 1000 배를 초과하지 않아야하며 피크 전기장, 자기장강도는 표에 주어진 값의 32 배를 초과하지 않을 것

4. 10 GHz 이상에서, S_{eq} , E^2 , H^2 , B^2 은 $68/f^{1.05}$ 분간의 평균을 취함

표 2-2. ICNIRP 전자파인체보호기준(직업인, 실효치)

| 주파수 | 전기장강도 (V/m) | 자기장강도 (A/m) | 자속밀도 (μ T) | 전력밀도 S_{eq} (W/m ²) |
|----------------|----------------|------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| up to 1 Hz | – | 1.63×10^5 | 2×10^5 | – |
| 1–8 Hz | 20,000 | $1.63 \times 10^5/f^2$ | $2 \times 10^5/f^2$ | – |
| 8–25 Hz | 20,000 | $2 \times 10^4/f$ | $2.5 \times 10^4/f$ | – |
| 0.025–0.82 kHz | 500/f | 20/f | 25/f | – |
| 0.82–65 kHz | 610 | 24.4 | 30.7 | – |
| 0.065–1 MHz | 610 | 1.6/f | 2.0/f | – |
| 1–10 MHz | 610/f | 1.6/f | 2.0/f | – |
| 10–400 MHz | 61 | 0.16 | 0.2 | 10 |
| 400–2,000 MHz | $3f^{1/2}$ | $0.008f^{1/2}$ | $0.01f^{1/2}$ | $f/40$ |
| 2–300 GHz | 137 | 0.36 | 0.5 | 50 |

비고: 1. 100 kHz – 10 GHz 주파수 사이에서, S_{eq} , E^2 , H^2 , B^2 은 임의 6 분간의 평균을 취한다.

2. 100 kHz 까지 주파수에서의 첨두값은 실효치에 $\sqrt{2}$ 를 곱한 값을 적용함

3. 100 kHz 이상 주파수에서의 첨두값은 다음과 같이 적용함

- 100 kHz – 10 MHz : 100 kHz에서 1.5배, 10 MHz에서 32배가 되도록 내삽
- 10 MHz 이상 : 펄스폭의 시간 평균한 피크 전력밀도는 S_{eq} 값의 1000 배를 초과하지 않아야하며 피크 전기장, 자기장강도는 표에 주어진 값의 32 배를 초과하지 않을 것

4. 10 GHz 이상에서, S_{eq} , E^2 , H^2 , B^2 은 $68/f^{1.05}$ 분간의 평균을 취함

2. 국내 전자파 인체보호기준

국내에서는 전파법 제47조의2(전자파 인체보호기준 등)에 따라 전자파로부터 인체를 보호하기 위하여 전자파 인체보호기준(과학기술정보통신부고시 제2017-7호)을 정하여 고시하고 있는데 전자파강도 인체보호기준은 표 2-3, 표 2-4과 같다. 즉 국내 전자파강도 인체보호기준은 ICNIRP 기준과 동일하게 일반인과 직업인으로 구분하여 기준을 달리 규정하고 있다.

표 2-3, 표 2-4에서 보는바와 같이 국내 전자파강도 기준은 실효값을 적용하도록 규정하고 있으며, 펄스형 신호의 전자파에 대한 피크치 기준을 별도로 규정하고 있지 않다. 이는 100 kHz 이상의 펄스형 신호의 전자파는 피크치에 대한 제한 없이 실효값 기준만을 만족하면 됨을 의미한다.

표 2-3. 전자파강도 기준(일반인)

| 주파수 범위 | 전기장강도 [V/m] | 자기장강도 [A/m] | 자속밀도 [μT] | 전력밀도 [W/m²] |
|---------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|----------------|
| 1 Hz 이하 | — | 3.2×10^4 | 4×10^4 | |
| 1 Hz 이상 ~ 8 Hz 미만 | 10,000 | $3.2 \times 10^4 / f^2$ | $4 \times 10^4 / f^2$ | |
| 8 Hz 이상 ~ 25 Hz 미만 | 10,000 | $4,000 / f$ | $5,000 / f$ | |
| 0.025 kHz 이상 ~ 0.8 kHz 미만 | $250 / f$ | $4 / f$ | $5 / f$ | |
| 0.8 kHz 이상 ~ 3 kHz 미만 | $250 / f$ | 5 | 6.25 | |
| 3 kHz 이상 ~ 150 kHz 미만 | 87 | 5 | 6.25 | |
| 0.15 MHz 이상 ~ 1 MHz 미만 | 87 | $0.73 / f$ | $0.92 / f$ | |
| 1 MHz 이상 ~ 10 MHz 미만 | $87 / f^{1/2}$ | $0.73 / f$ | $0.92 / f$ | |
| 10 MHz 이상 ~ 400 MHz 미만 | 28 | 0.073 | 0.092 | 2 |
| 400 MHz 이상 ~ 2,000 MHz 미만 | $1.375 f^{1/2}$ | $0.0037 f^{1/2}$ | $0.0046 f^{1/2}$ | $f / 200$ |
| 2 GHz 이상 ~ 300 GHz 미만 | 61 | 0.16 | 0.20 | 10 |

- 비고: 1. 전기장강도, 자기장강도 및 자속밀도는 실효치로 한다.
 2. 100 kHz 이하의 주파수대역에서 측정값은 시간평균을 취하지 않은 최대값으로 한다.
 3. 100 kHz 이상 10 GHz 미만의 주파수대역에서 측정 평균시간은 6 분으로 한다.
 4. 10 GHz 이상의 주파수대역에서 측정 평균시간은 $68 / f^{1.05}$ 분으로 한다.

표 2-4. 전자파강도 기준(직업인)

| 주파수 범위 | 전기장강도 [V/m] | 자기장강도 [A/m] | 자속밀도 [μT] | 전력밀도 [W/m²] |
|----------------------------|----------------|--------------------------|-----------------------|----------------|
| 1 Hz 이하 | - | 1.63×10^5 | 2×10^5 | |
| 1 Hz 이상 ~ 8 Hz 미만 | 20,000 | $1.63 \times 10^5 / f^2$ | $2 \times 10^5 / f^2$ | |
| 8 Hz 이상 ~ 25 Hz 미만 | 20,000 | $2 \times 10^4 / f$ | $25 \times 10^4 / f$ | |
| 0.025 kHz 이상 ~ 0.82 kHz 미만 | 500/f | 20/f | 25/f | |
| 0.82 kHz 이상 ~ 65 kHz 미만 | 610 | 24.4 | 30.7 | |
| 0.065 MHz 이상 ~ 1 MHz 미만 | 610 | 1.6/f | 2.0/f | |
| 1 MHz 이상 ~ 10 MHz 미만 | 610/f | 1.6/f | 2.0/f | |
| 10 MHz 이상 ~ 400 MHz 미만 | 61 | 0.16 | 0.2 | 10 |
| 400 MHz 이상 ~ 2,000 MHz 미만 | $3f^{1/2}$ | $0.008f^{1/2}$ | $0.01f^{1/2}$ | f/40 |
| 2 GHz 이상 ~ 300 GHz 미만 | 137 | 0.36 | 0.45 | 50 |

- 비고: 1. 전기장강도, 자기장강도 및 자속밀도는 실효치로 한다.
 2. 100 kHz 이하의 주파수대역에서 측정값은 시간평균을 취하지 않은 최대값으로 한다.
 3. 100 kHz 이상 10 GHz 미만의 주파수대역에서 측정 평균시간은 6 분으로 한다.
 4. 10 GHz 이상의 주파수대역에서 측정 평균시간은 $68/f^{1.05}$ 분으로 한다.

펄스형 신호의 전자파인 경우, 국제기준(ICNIRP, IEEE)에서는 실효치(즉 시간 평균치) 기준과 피크치 기준을 구분하여 규정하고 있지만, 우리나라를 포함한 미국, 일본, 유럽 등 세계 각국에서는 실효치 기준만을 자국 기준으로 규정할 뿐, 피크치 값에 대한 기준은 적용하고 있지 않다. 세계 각국이 펄스형 신호의 전자파의 피크치 기준을 자국내 기준으로 규정하지 않는 이유는 명확하지 않으나 펄스형 신호의 전자파가 인체에 미치는 부정적인 영향이 명확하지 않거나 미미한 것으로 판단하기 때문으로 추정된다.

그러나 최근 국내에서는 항공, 해상, 기상용으로 주로 이용되는 고출력 펄스형 신호의 전자파에 대한 국민 불안이 증가하면서 펄스형 신호의 전자파의 기준 검토와 측정방법 마련의 필요성이 제기되고 있다. 따라서 본 연구에서는 펄스형 신호의 전자파 인체보호기준 개정에 대비하여 실효치 값과 평균치 값을 측정할 수 있는 방법을 제시한다.

제2절 펄스형 전자파 신호특성 분석

1. 펄스형 전자파의 특성인자 결정 요인

비행기나 배 등 물체 탐지를 목적으로 주로 이용되는 펄스형 신호의 전자파는 그림 2-2와 같이 매우 짧은 시간동안 간헐적(펄스폭 τ , 펄스반복주기 T)으로 발생하는 높은 피크치(E_p)의 전자파를 이용한다.

이러한 목적으로 이용되는 펄스형 신호의 전자파에서 먼저 피크치(E_p), 펄스폭(τ), 펄스반복주기(T)가 가지는 의미를 알아보자. 지향성 안테나를 이용하여 송신전력 P_t 로 발사된 전파가 거리 R 만큼 떨어진 물체에 반사되어 송신지점으로 되돌아 온 경우, 수신된 신호전력(S)은 식(1)과 같이 나타낸다.

$$S = \frac{P_t G_t G_R \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^2 R^4 4\pi} \text{ (W)} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (1)$$

여기서 P_t : 송신 전력
 G : 안테나 이득
 λ : 파장
 σ : 물체 산란 단면적
 R : 거리

수신되는 신호전력(S) 세기는 송신전력(P_t)에 비례함을 알 수 있다. 한편 송신 전력 P_t 는 식 (2)와 같이 피크치 전기장강도(E_p)에 비례한다.

$$E_p = \frac{\sqrt{30 \cdot P_t \cdot G_t}}{R} \quad (2)$$

따라서 펄스형 전자파가 먼 거리의 물체에 반사되어 되돌아 올 때 수신지점에서의 수신전력(S) 세기는 펄스형 전자파의 피크값(E_p)과 탐지거리 R 에 의해 결정됨을 알 수 있다. 일반적으로 수신기가 결정되면 최소 수신전력 레벨도 수신기에 의해 결정되므로, 상대적으로 먼 거리의 물체를 감지하기 위해서는 펄스형 전자파의 피크값(E_p)을 높여주어야 함을 알 수 있다. 즉 펄스형 전자파의

피크값(E_p)은 물체의 최대 탐지거리를 결정하는 인자로 작용한다.

한편 펄스형 전자파가 먼 거리의 물체 탐지를 목적으로 이용하기 위해서는 하나의 펄스 신호가 송신되어 물체에 반사후 되돌아오는 시간동안 다음 펄스 신호가 발사되지 않아야 한다. 즉 펄스발생주기(T)는 물체의 최대 감지거리와 직접 관련이 됨을 알 수 있다. 실제 해상, 항공용으로 주로 이용되는 펄스형 무선국의 경우, 펄스발생주기(T)는 통상 수 밀리초(ms) 정도의 수준을 가지는데 펄스발생주기가 1 ms인 경우, 물체의 최대 탐지거리는 대략 150 km ($= 3 \times 10^8 * 10^{-3}/2$) 까지 가능함을 알 수 있다.

한편 펄스폭(τ)은 물체의 분해능과 관련된다. 즉 먼 거리에 존재하는 물체(예 선박)를 탐지할 목적으로 펄스형 전자파가 이용되는 경우, 펄스폭이 짧을수록 해상에 존재하는 2개의 선박을 구분하는 능력이 커지게 된다. 일반적으로 해상 선박을 탐지할 목적으로 이용되는 펄스형 전자파의 경우, 펄스폭은 대략 $0.1 \mu s \sim$ 수 μs 정도를 가지는데 펄스폭이 1 μs 인 경우, 물체의 분해능은 대략 150 m ($= 3 \times 10^8 * 10^{-6}/2$) 정도에 해당함을 알 수 있다.

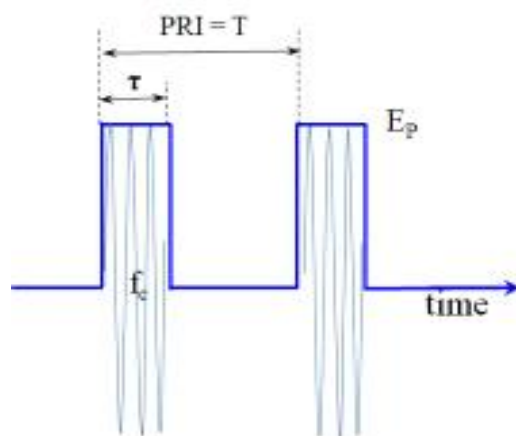


그림 2-2. 펄스형 전자파 특성

2. 펄스형 전자파 측정방식 검토

그림 2-2에서 보듯이 펄스형 전자파는 높은 피크치와 짧은 펄스폭을 가지는 특징을 가진다. 일반 고출력 무선국용으로 이용 중인 펄스형 전자파는 통상적으로 듀티 사이클이 낮아 평균치는 낮으나 피크치는 상당히 높아 펄스형 전자파의

피크치를 측정하는 것은 그리 쉬운 일이 아니다. 즉 간헐적으로 발생하는 피크치는 상당히 높아 일반 계측기기의 최대 측정 한계를 벗어날 수 있다. 따라서 일반 계측기기로 피크치를 측정할 때는 계측기의 측정한계를 확인한 후, 필요하다면 감쇠기 등을 부착하여 측정하여야 한다.

한편 펄스파는 $0.1\ \mu\text{s}$ ~ 수 μs 정도의 짧은 펄스폭을 가진다. 모든 계측기기는 측정을 위한 반응시간이 존재하는데 이 반응시간은 계측기기의 회로내 다양한 소자특성(주로 콘덴서, 다이오드 등)에 기인하며 일부 계측기는 반응시간이 수 μs 이상 소요되기도 한다. 즉 계측기기의 반응시간이 펄스파의 펄스폭 보다 큰 경우, 이 계측기기는 펄스신호의 피크치를 정확히 측정할 수 없음을 의미한다. 따라서 펄스형 전자파 신호의 피크치를 측정하기 위해서는 가능한 응답시간이 빠른 계측기기가 유리하다.

일반적으로 전자파강도를 측정하는 방식은 크게 스펙트럼분석기를 이용하는 방식과 휴대용 전자파 측정기를 이용하는 방식으로 구분할 수 있다. 스펙트럼분석기는 반응시간이 상당히 빨라(수 ns이하) 펄스형 전자파의 피크치를 용이하게 측정할 수 있는 장점이 있는 반면, 스펙트럼분석기 외에도 측정용 안테나, 케이블 등이 필요하여 측정시스템의 부피가 상당히 커지게 되는 단점이 있으며 전자파 강도 실제 값은 스펙트럼분석기의 측정값에서 안테나 인자나 케이블 손실 등을 반영하여 계산하여야 할 수 있는 단점이 있다.

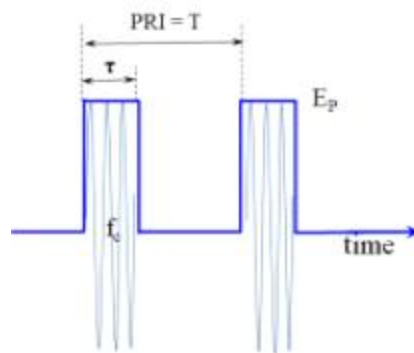
한편 휴대용 전자파 측정기는 측정자가 간편하게 휴대하고 이동할 수 있어 산악지역 등 접근이 용이하지 못한 지점에 위치한 무선국의 전자파강도를 측정하기에 적합하다. 그러나 휴대용 전자파 측정기는 반응시간이 느려 μs 정도의 짧은 펄스폭을 가진 펄스파의 피크치를 정확히 측정하는데 어려움이 있다. 따라서 휴대용 전자파 측정기로 펄스형 전자파 신호를 측정하는 경우, 측정기의 반응시간을 반영하여 측정값에 대한 보상인자가 필요하게 된다.

따라서 펄스형 전자파의 평균치와 피크치에 대한 전자파강도를 측정하는 방법을 마련하기 위하여 우리 원에서는 스펙트럼분석기를 이용하는 방식과 휴대용 전자파 측정기를 이용하는 방식을 모두 검토하고 있다. 스펙트럼분석기를 이용한 펄스형 전자파 측정방법은 우리 원의 자체연구로 수행하고 있으며 휴대용 전자파 측정기를 이용하는 방식은 정책과제를 통하여 펄스형 전자파의 측정방법을 마련할 계획이다. 따라서 여기서는 스펙트럼분석기를 이용한 펄스형 전자파 측정방법을 중심으로 기술한다.

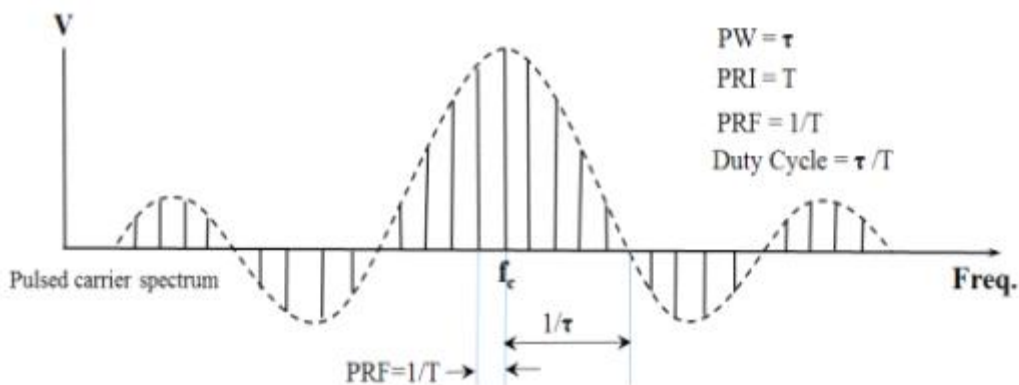
3. 펄스형 신호의 푸리에 변환

펄스형 신호의 주파수 영역에서의 특성은 푸리에 변환을 통해 확인할 수 있다. 펄스폭 τ , 펄스주기 T 를 가지는 펄스형 신호는 푸리에 변환을 통해 그림 2-3와 같이 주파수 축 상에서 펄스형 신호의 특성을 보여 준다.

펄스형 신호를 주파수 축으로 변환하여 살펴보면 선 스펙트럼 형태로 변환됨을 알 수 있다. 한편 선 스펙트럼의 크기는 주파수에 따라 달라지는데 캐리어 주파수를 중심으로 싱크함수 형태의 포락선 형태로 변화한다. 여기서 싱크함수의 포락선의 크기($1/\tau$)는 펄스폭 τ 에 의해 결정되며 선 스펙트럼간 주파수 간격은 펄스발생주기 T 에 의해 결정됨을 알 수 있다. 즉 펄스발생주기(T)가 클수록 선 스펙트럼 간격은 조밀해지는 반면, 펄스폭(τ)이 짧을수록 싱크함수 포락선이 더 넓은 주파수 대역으로 확장됨을 알 수 있다.



(a) 시간축상에서의 펄스파 형태



(b) 주파수축상에서의 펄스파 형태

그림 2-3. 펄스형 신호의 푸리에 변환

제3절 스펙트럼분석기를 이용한 펄스형 신호 측정방법

1. 스펙트럼분석기를 이용한 펄스형 신호 측정방식 검토

스펙트럼분석기를 이용하여 개별 무선국 신호 특성을 분석하거나 전자파 강도를 측정하기 위해서는 스펙트럼분석기의 분해능대역폭(RBW)을 적절히 설정·이용할 수 있어야 한다. 즉 분해능대역폭(RBW)을 넓게 설정할 경우, 빠른 측정이 가능하여 측정시간을 단축할 수 있지만, 개별 무선국의 주파수 특성을 구분할 수 없는 단점이 있다. 반면 분해능대역폭(RBW)을 좁게 설정할 경우에는 측정시간이 길어지는 단점이 있지만 개별 무선국의 주파수 성분이나 무선국 특성을 상세히 분석할 수 있는 장점을 가진다. 특히 펄스형 신호의 전자파를 스펙트럼분석기로 측정하는 경우, 분해능대역폭(RBW) 설정 값에 따라 스펙트럼분석기에서 관측되는 신호파형이나 측정값 자체가 판이하게 달라진다. 분해능대역폭(RBW)을 설정하는 정도에 따라 스펙트럼분석기로 측정한 펄스형 신호의 파형은 그림 2-4의 아랫부분 그림과 같이 선 스펙트럼 형태, 싱크함수 포락선 형태, 또는 최대값 측정 형태 등으로 나타나게 된다.

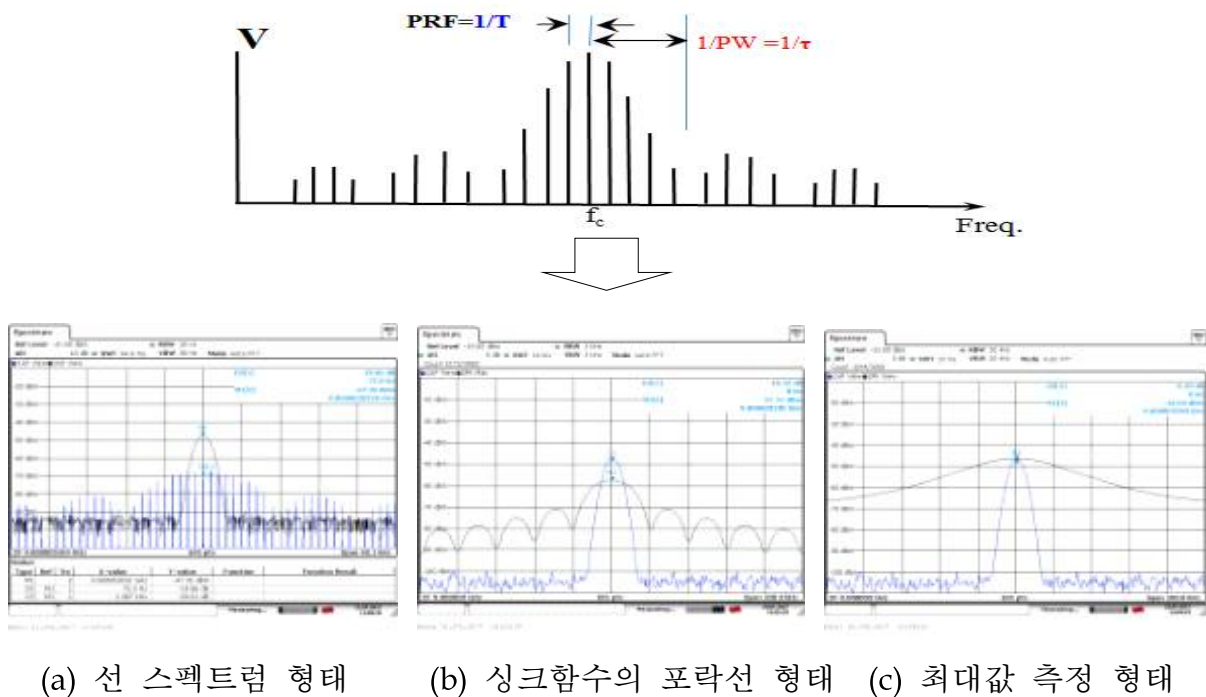


그림 2-4. SA의 RBW 설정에 따른 측정결과 변화

가. 선 스펙트럼 모드 측정

앞의 그림 2-3 또는 그림 2-4에서 보는바와 같이 펄스형 신호의 전자파는 주파수 축으로 변환해 보면 선 스펙트럼 형태로 나타남을 알 수 있다. 이와 같이 선 스펙트럼 형태로 표현되는 펄스형 전자파 신호를 스펙트럼분석기의 모니터 상에서 선 스펙트럼 형태로 측정하기 위해서는 스펙트럼분석기의 분해능대역폭(RBW)을 가능한 좁게 설정하여야 하는데 그림 2-5와 같이 펄스반복주파수($PRF=1/T$)보다 작게 설정하여야 한다.

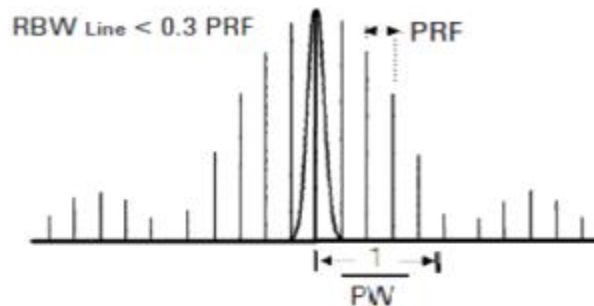


그림 2-5. 협대역 RBW를 이용한 선 스펙트럼 모드 측정

일반적으로 분해능대역폭(RBW)을 $0.3 \cdot PRF$ 보다 작게 설정하면 펄스형 전자파를 선 스펙트럼 형태의 신호로 정확히 측정할 수 있다. 이와 같이 분해능대역폭(RBW)을 좁게 설정한 경우, 신호전력이 주파수 영역에서 선 스펙트럼 형태로 넓게 퍼져있어 펄스형 전자파의 피크치나 평균치를 직접 측정할 수는 없지만, 선 스펙트럼 신호성분의 측정값과 특성을 이용하여 계산을 통해 피크치나 평균치를 계산으로 구할 수 있다. 즉 실제 펄스형 전자파 무선국 신호의 피크값(P_p)과 평균값(P_{ave})은 스펙트럼분석기로 측정한 선 스펙트럼 상의 최대값(P_{max})을 이용하여 다음 식과 같이 계산으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{피크치 전력 : } P_p &= P_{max} - 20 \cdot \log(\text{듀티사이클}) \\ &= P_{max} - 20 \cdot \log(\tau/T) \quad [\text{dBm}] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{평균치 전력 : } P_{ave} &= P_p + 10 \cdot \log(\text{듀티사이클}) \\ &= P_p + 10 \cdot \log(\tau/T) \end{aligned} \quad (4)$$

즉 펄스형 전자파의 펄스폭(τ)과 펄스주기(T)에 대한 정보를 이미 알고 있거나 측정으로 확인한 경우, 듀티 사이클(τ/T)을 계산할 수 있으며, 이를 통해 펄스형 전자파 무선국 신호의 피크값(P_p)과 평균값(P_{ave})을 계산으로 구할 수 있다.

이와 같이 선 스펙트럼 형태의 측정을 통해 펄스형 전자파 무선국 신호의 피크값(P_p)과 평균값(P_{ave})을 계산으로 구하는 것은 이론상으로는 가능하나, 펄스형 전자파 무선국이 운용되는 실제 환경에서 이를 이용하여 펄스파 신호의 피크값(P_p)과 평균값(P_{ave})을 구하는 것을 현실적으로 어렵다. 왜냐하면 실제 펄스형 신호를 발생하는 무선국 안테나는 회전하고 있고, 무선국 출력이나 중심 주파수가 실제 불안정하게 흔들리고 있어 선 스펙트럼 형태의 안정된 측정을 얻는 것이 현실적으로 어렵기 때문이다. 이와 같이 선스펙트럼 측정 방식을 이용하여 펄스형 전자파의 피크치 및 평균치를 구하는 것은 신호발생기를 이용한 실험실 수준에서는 가능하나 실제 무선국 운영 환경에서는 실제 이를 이용하여 피크치 및 평균치를 구하는 것이 어려운 것이 현실이다.

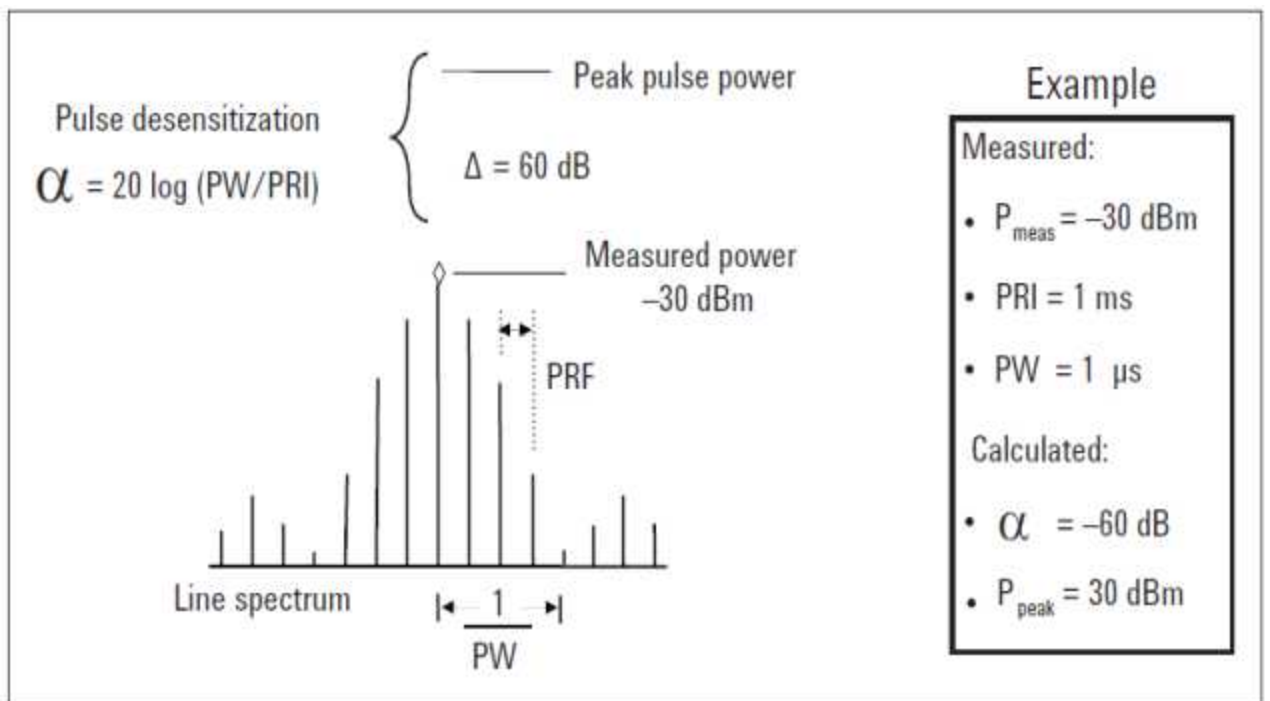


그림 2-6. 선 스펙트럼 측정을 이용한 펄스파의 피크치 환산 방법

나. 펄스 스펙트럼 모드 측정(싱크함수 형태)

펄스형 전자파 신호를 그림 2-4 (b)와 같이 싱크함수 형태의 포락선 형태로 측정하기 위해서는 스펙트럼분석기의 분해능대역폭(RBW)이 개별 선 스펙트럼 간격보다는 넓으나 펄스와 신호 전력의 대부분을 포함하지는 않을 만큼 RBW를 적절하게 설정하여야 한다. 즉 그림 2-7과 같이 분해능대역폭(RBW)을 설정하는 경우, 스펙트럼 상에서 측정된 결과는 그림 2-4 (b) 또는 그림 2-8과 같이 나타나게 된다. 즉 스펙트럼분석기의 분해능대역폭(RBW)이 선 스펙트럼 간격보다는 넓기 때문에 스펙트럼분석기가 주파수 대역을 스캔하는 동안 언제나 1개 이상의 선 스펙트럼을 포함하게 되므로 그림 2-3이나 그림 2-4의 윗부분 그림과 같이 선 스펙트럼의 포락선을 나타내는 싱크함수 형태를 측정하게 된다. 이와 같이 펄스형 전자파를 싱크함수 형태로 측정하기 위해서는 분해능대역폭(RBW)을 다음과 같이 설정하는 것이 적합하다.

펄스파의 싱크함수 형태 측정을 위한 RBW 설정 :

$$1.7 * PRF < RBW < 0.1/PW \quad (5)$$

이때 스펙트럼분석기의 분해능대역폭(RBW)이 펄스와 신호 전력 일부만을 포함하도록 설정하였기 때문에 이렇게 측정한 최대값은 실제 펄스파의 피크값 보다 작게 되는데, 작은 정도(a_p)는 분해능대역폭(RBW) 설정값과 스펙트럼분석기 고유의 K 인자에 의해 식 (6)과 같이 나타난다.

$$a_p = 20 \cdot \log(\tau \cdot K \cdot RBW) \text{ [dB]} \quad (6)$$

여기서 τ : 펄스폭

K : RBW 필터 특성을 나타내는 인자로 장비 제조사에서 제공함

즉 제조사에서 제공하는 K 인자값을 알고 있고 식 (5)를 만족하도록 분해능대역폭(RBW)을 설정하여 스펙트럼분석기로 최대값을 측정한 경우, 측정값에 (6)식 결과를 더함으로써 펄스파의 피크값을 계산으로 구할 수 있다.

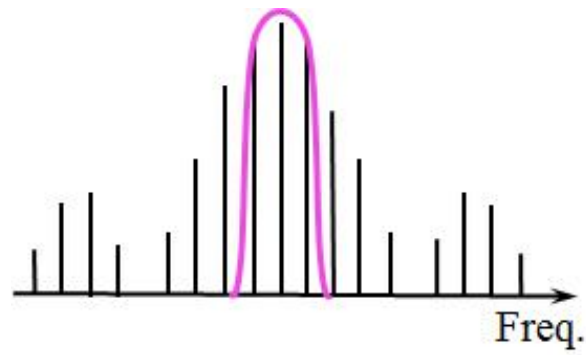


그림 2-7. 펄스 스펙트럼 모드 측정을 위한 RBW 설정

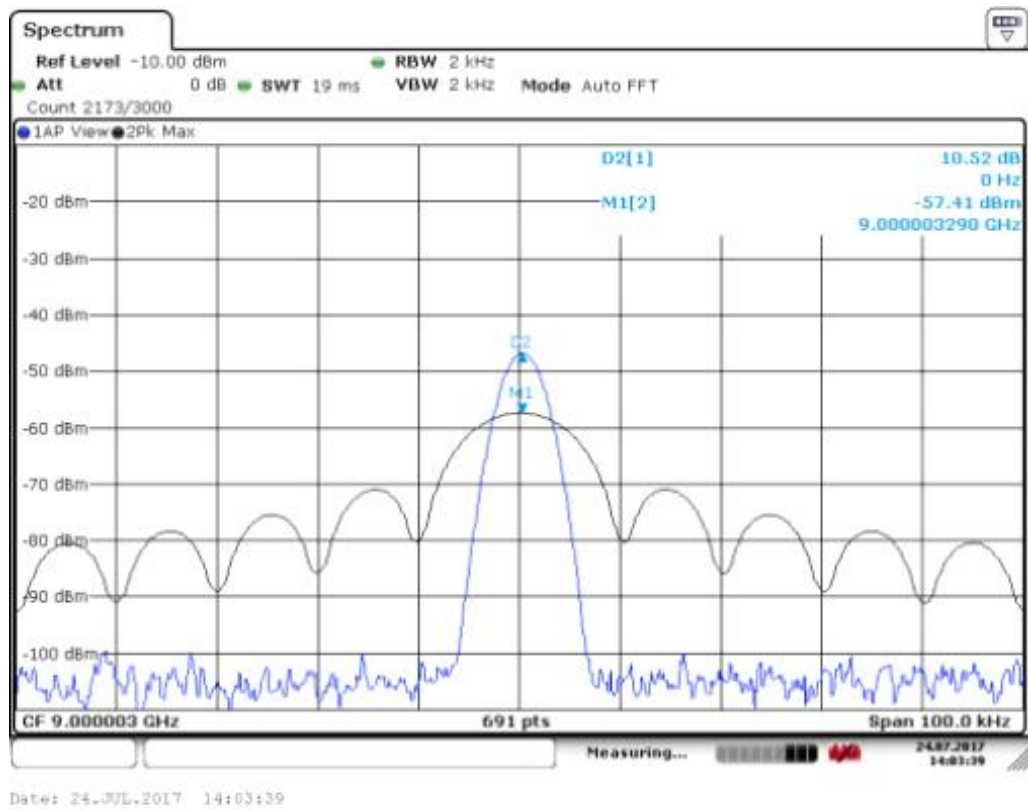


그림 2-8. 싱크함수 형태의 펄스 스펙트럼 모드 결과 측정
(펄스변조 ON/OFF시 측정값 비교)

다. 펄스 스펙트럼 모드 측정 (최대값 측정 형태)

그림 2-7과 그림 2-9를 비교하면 그림 2-9는 스펙트럼분석기의 분해능대역폭(RBW)을 훨씬 넓게 설정하였음을 알 수 있다. 즉 그림 2-9 스펙트럼분석기 분해능대역폭(RBW)은 싱크함수 포락선의 봉우리 3개 이상을 포함하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 RBW를 설정한 경우, RBW 필터가 중심 주파수에 위치한다면 이때 펄스형 전자파의 송신전력 대부분(99 %이상)이 RBW 필터 안에 포함됨을 알 수 있다. 따라서 이와 같이 스펙트럼분석기 분해능대역폭(RBW)을 넓게 설정한다면 펄스형 전자파는 그림 2-10과 같이 최대값을 측정하는 형태의 측정결과를 나타내게 된다.

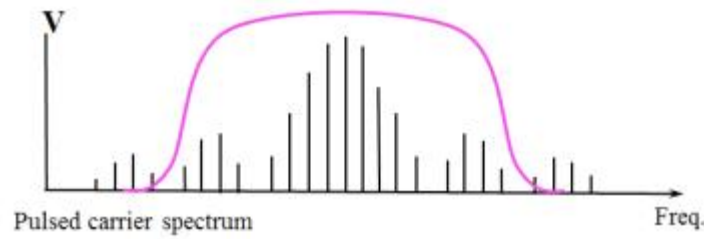


그림 2-9. 최대값 형태의 측정을 위한 RBW 설정

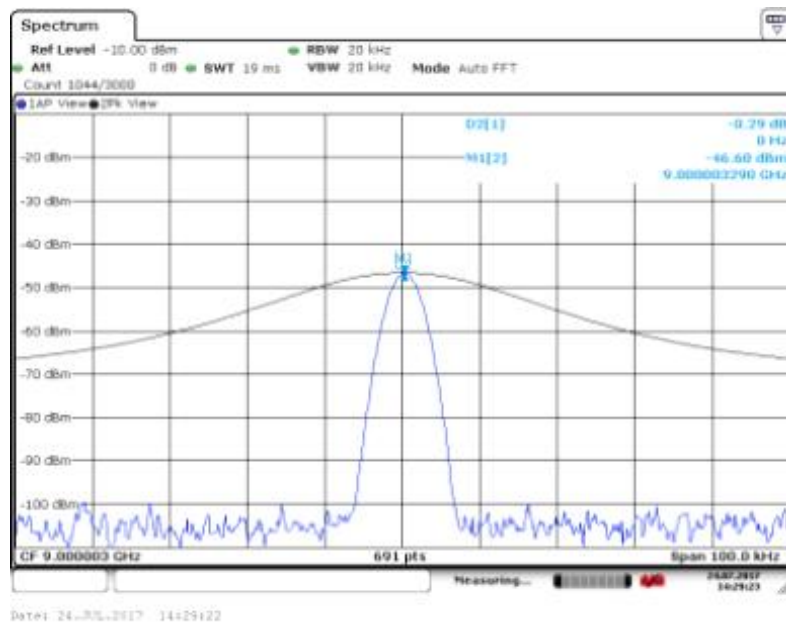


그림 2-10. 최대값 형태의 스펙트럼분석기 측정
(펄스변조 ON/OFF시 측정값 비교)

라. 제로 스패น 모드 측정 (최대값 측정 형태)

스펙트럼분석기에서 스패를 0으로 설정하면 스펙트럼분석기는 마치 오실로스코프와 유사하게 펄스파의 시간 특성을 모니터 상에 보여주게 된다. 즉 스펙트럼분석기에서 스패를 0으로 설정하면 스펙트럼분석기 내의 국부 발진자(Local Oscillator)는 스위프(sweep)을 멈추고 설정된 고정 주파수에서 모니터 상에 측정값 변화를 시간을 함수로 보여주게 된다. 그리고 이때 스펙트럼분석기의 내/외부 트리거 기능을 이용하면 그림 2-11과 같이 모니터 상에서 펄스형 전자파의 신호 형태를 안정되게 볼 수 있다.

이와 같이 스펙트럼분석기의 제로 스패ن 모드를 이용하여 펄스형 전자파를 측정할 때는 (7)식과 같이 스펙트럼분석기의 RBW를 충분히 넓게 설정하여야 한다.

펄스파의 제로스패ن 모드 측정을 위한 RBW 설정 :

$$RBW < 2/PW \quad (7)$$

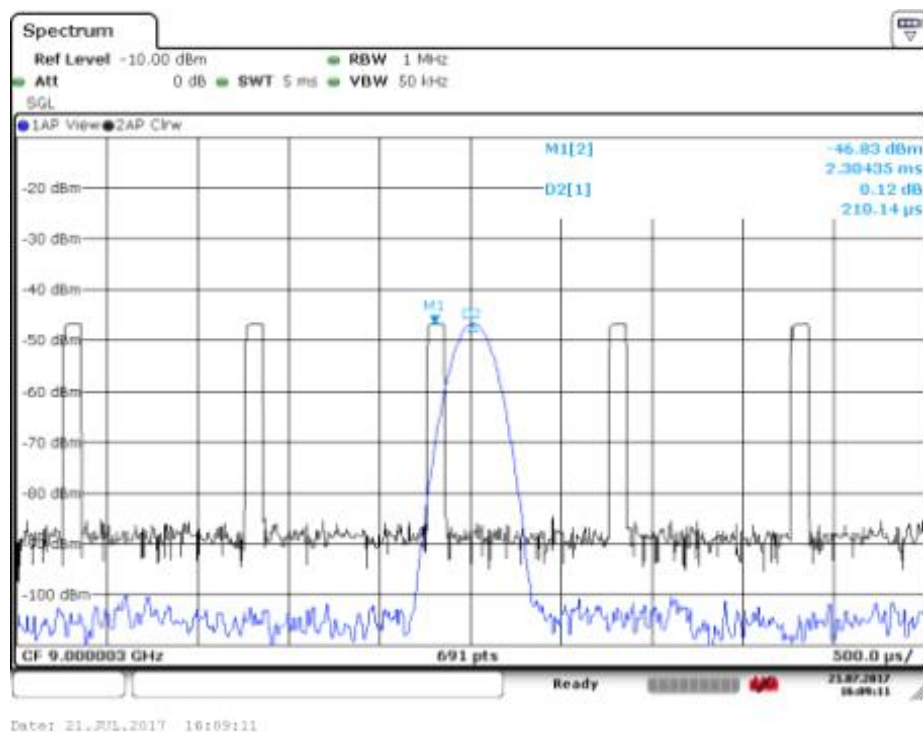


그림 2-11. 스패 제로 모드 측정 결과
(펄스변조 ON/OFF시 측정값 비교)

즉 이와 같이 펄스형 전자파의 송신전력 대부분이 RBW 필터 안에 포함될 수 있도록 RBW를 넓게 설정함으로써 펄스형 전자파의 피크치를 측정할 수 있게 된다. 이와 같이 그림 2-11과 같이 측정된 결과는 스펙트럼분석기의 마커 기능을 이용하여 펄스폭과 펄스 주기에 대한 정보를 구할 수 있어 펄스형 전자파의 세부 특성 정보를 손쉽게 얻을 수 있게 된다.

2. 제로 스펜 모드를 이용한 펄스형 전자파 측정방법 및 측정결과

스펙트럼분석기를 이용하여 펄스형 전자파의 신호특성을 측정하기 위한 방법을 앞에서 논의하였다. 앞에서 논의한 4가지 방식은 전자파의 피크값이나 평균값을 측정·분석하기 위하여 실험실 수준에서는 모두 가능한 방법이지만, 실제 무선국 운용 상황에서 이용이 가능한지 여부는 다시 한 번 살펴볼 필요가 있다.

실제 펄스형 전자파 신호를 이용하는 무선국에서는 송신 안테나가 회전을 하고 있다. 따라서 펄스형 신호가 일정한 주기로 발생하는데도 불구하고 수신지점에서는 송신 안테나의 회전으로 인하여 펄스형 신호가 수초에 1차례씩 수신되는 형태로 나타난다. 그리고 실제 펄스형 전자파 발생 무선국의 불안정으로 펄스형 전자파의 출력이나 펄스폭, 펄스주기, 중심 주파수 등이 다소 불안정하게 나타난다. 한편 스펙트럼분석기는 내의 국부 발진자(Local Oscillator)를 이용하여 주파수 대역을 스위프(sweep)을 하면서 측정한다. 이와 같이 스펙트럼분석기의 주파수 대역 스위프, 펄스 발생 송신안테나의 회전 및 시스템 불안정 등을 고려할 때 스펜제로 모드로 측정하는 방법이 가장 적합할 것으로 판단된다.

따라서 여기서는 스펙트럼분석기의 스펜제로 모드 측정방법을 이용하여 펄스형 전자파 신호의 피크값, 평균값 뿐만 아니라 펄스폭, 펄스주기에 대한 정보를 측정하는 방법을 차례대로 기술한다.

가. 중심주파수 및 대역폭 측정

여기서 측정하는 중심주파수와 대역폭은 펄스형 전자파의 인체보호기준 준수 여부를 측정하기에 앞서 사전에 필요한 정보를 얻기 위한 목적이다. 이를 위해 스펙트럼분석기를 아래와 같이 설정하여 6분간 측정한 값을 이용하여 중심주파수와 대역폭을 구한다.

① 계측기 설정

- 중심주파수 : 허가 주파수 대역폭의 중앙
- 스패(Span) : 허가 주파수 대역폭과 동일(또는 2배)
- 분해능대역폭 (RBW) : 100 kHz
- 트레이스 모드 : Max_Hold

② 6 분간 측정하여 중심주파수(CF)와 대역폭 구함

- 중심주파수(CF) : 측정된 신호 대역폭의 중앙 주파수값
- 대역폭 : 피크값 대비 10 dB 대역폭
단, 최대값이 계측기 잡음 값보다 10 dB 이상 높지 않은 경우, 3 dB 폭을 대역폭으로 함

위 방법과 절차에 따라 측정한 결과는 그림 2-12와 같이 나타난다. 그림2-12에서 구한 중심주파수는 9.402 GHz, 대역폭은 5 MHz로 나타났다.

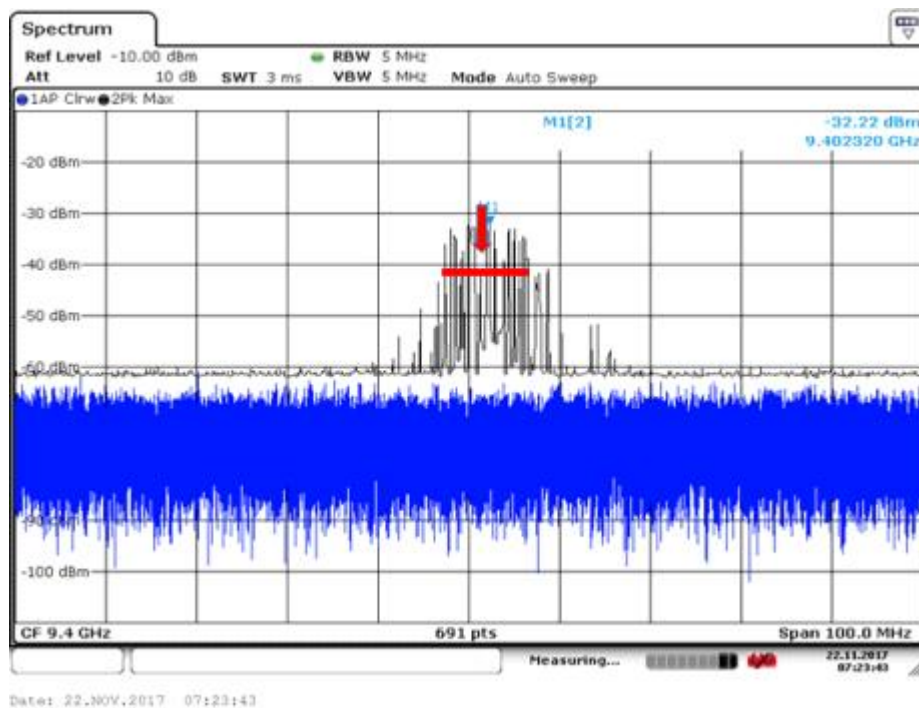


그림 2-12. 중심주파수 및 대역폭 측정 결과

나. 펄스주기(T) 측정

펄스형 전자파의 펄스주기를 측정하기 위하여 스펙트럼분석기를 아래와 같이 설정하여 절차에 따라 측정한다.

① 계측기 설정

- 중심주파수 : 위의 '2. 가'에서 측정한 중심주파수(CF)
- 스패(Span) : 0 Hz
- 분해능대역폭(RBW) : '2. 가'에서 측정한 대역폭의 2배 이상(또는 가장 큰 값)
- 트레이스 모드 : Tr.1 - Actual , Tr.2 - Max_Hold
- 내부 트리거 ON

② 펄스 신호가 3~5개 정도 보이도록 Sweep Time 을 조정

③ 트레이스1 측정결과와 마커 기능을 이용하여 펄스주기 측정

위 방법과 절차에 따라 측정한 결과는 그림 2-13와 같이 나타났으며 이때 펄스주기는 1.652 ms로 나타났다.

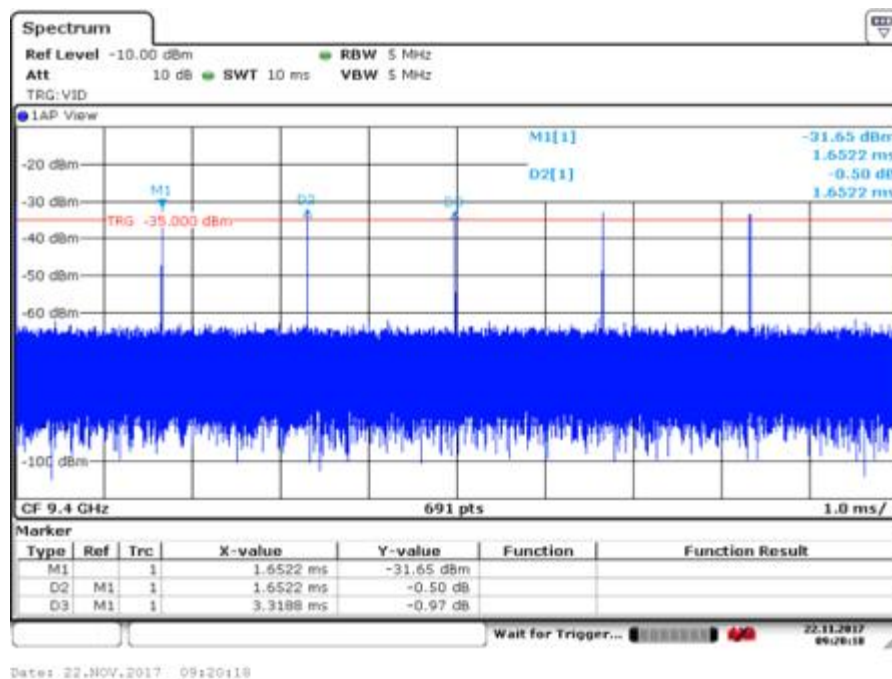


그림 2-13. 펄스주기(T) 측정 결과

다. 펄스폭(τ) 측정

펄스폭을 측정하기 위하여 스펙트럼분석기를 아래와 같이 설정하여 절차에 따라 측정한다.

- ① 계측기 설정 : ‘2. 나’ 펄스주기 측정시 설정과 동일
- ② Sweep Time 을 ‘2. 나 ②’에서 보다 더 빠르게 하여 1분 이상 (회전식 펄스 발생기의 경우 10회전 이상) 측정
- ③ 트레이스1 측정결과와 마커 기능을 이용하여 펄스폭(δ) 측정
펄스 신호가 구형파가 아닌 경우, 피크값 대비 3 dB 대역폭을 펄스폭으로 함

위 방법과 절차에 따라 측정한 결과는 그림 2-14와 같이 나타났으며 이때 펄스폭은 760 ns, 피크치는 28.13 dBm으로 나타났다.

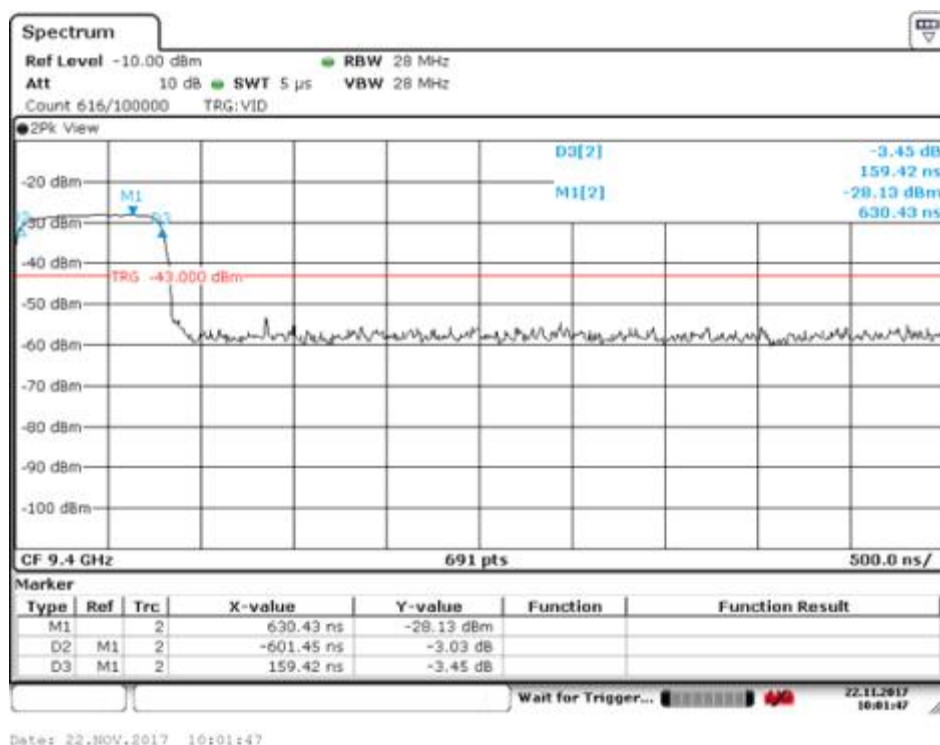


그림 2-14. 펄스폭(τ) 측정 결과

라. 피크값(E_p) 및 평균값(E_{ave}) 측정

펄스형 신호의 피크값(E_p)과 평균값(E_{ave})을 측정하기 위하여 스펙트럼분석기를 아래와 같이 설정하여 절차에 따라 측정한다.

① 계측기 설정

- 중심주파수 : '2. 가'에서 측정한 중심주파수(CF)
- 스패(Span) : 0 Hz
- 분해능대역폭(RBW) : '2. 가'에서 측정한 대역폭의 2배 이상(또는 가장 큰 값)
- 트레이스 모드 : Tr.1 - Average , Tr.2 - Max_Hold

Tr.1은 산술 평균값을 측정할 수 있도록 Average 모드를 주의하여 설정

- 트리거 OFF

② Sweep Time 을 가장 빠르게 설정하여 6분간 측정

③ Tr.1 , Tr.2 측정결과를 이용하여 피크값(E_p), 평균값(E_{ave})을 구한다.

위 방법과 절차에 따라 측정한 결과는 그림 2-15와 같이 나타났으며 이때 피크값(E_p)은 -28.95 dBm, 평균값(E_{ave})은 -64.76 dBm으로 나타났다.

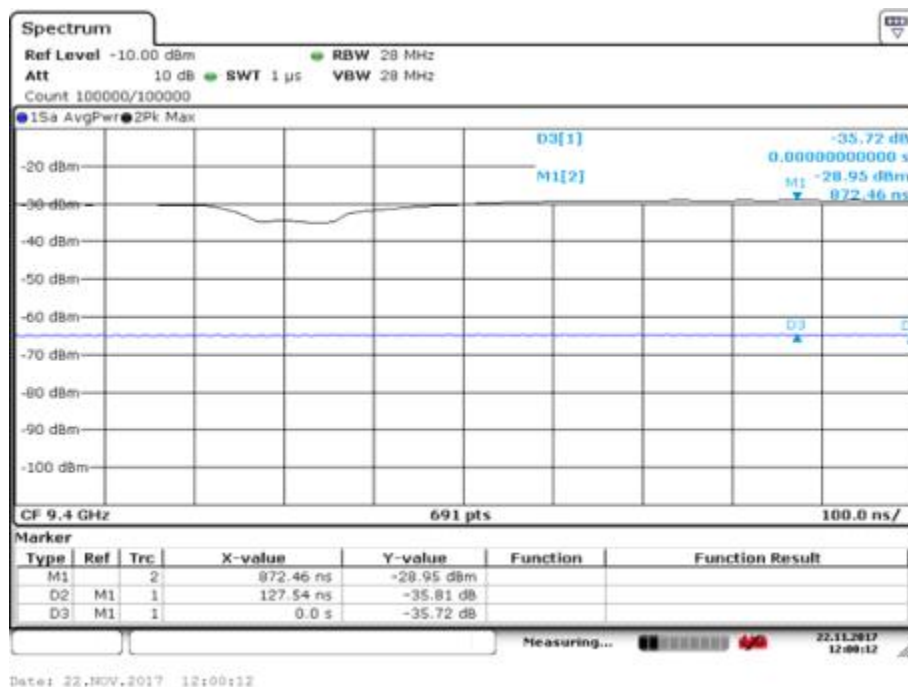


그림 2-15. 피크값(E_p) 및 평균값(E_{ave}) 측정 결과

마. 인체보호기준 준수여부 검토

펄스형 전자파 신호에 대하여 위에서 규정한 방법과 절차에 따라 측정한 결과는 아래 조건을 모두 만족하여야 한다.

- ① 펄스파 신호의 평균값(E_{ave}) : (전자파 인체보호기준값) 보다 낮아야함
- ② 펄스파 신호의 피크값(E_p) : (전자파 인체보호기준값)*32 보다 낮아야함
- ③ 총 노출지수는 1보다 작아야 함
 - 펄스형 신호의 채널 개수가 다수개(N)인 경우 적용함

$$\therefore \text{총 노출지수} = \sum_{i=1}^N (\text{노출지수})_i = \sum_{i=1}^N \left(\frac{E_{ave}}{\text{인체보호기준값}} \right)_i$$

아직까지 국내 기준에서는 펄스형 전자파의 피크값은 규정하고 않고 있다. ②에서 규정한 펄스파 피크값 기준은 국제기구 ICNIRP에서 규정한 값을 준용하였다.

3. 스펙트럼분석기를 이용한 펄스형 신호 측정방법(안)

위에서 기술한 방법과 절차를 이용하여 펄스형 전자파 신호의 측정방법(안)을 마련하였으며 그 세부 내용은 붙임 1과 같다. 붙임 1에서는 펄스형 전자파 신호의 인체보호기준 준수여부를 측정으로 확인하기 위하여 스펙트럼분석기를 이용한 측정방법을 제시하였으며 그 세부 방법으로는 스펙트럼분석기의 제로스팬 모드 측정방식을 이용하였다. 스펙트럼분석기를 이용한 펄스형 신호의 측정방법(안)의 상세 내용은 붙임1을 참조하기 바란다.

제 4절 결론 및 향후 계획

이 장에서는 펄스형 신호의 전자파 인체보호기준 준수 여부를 평가하기 위하여 스펙트럼분석기를 이용하여 펄스형 전자파를 측정하는 방법을 제시하였다. 이를 위해 먼저 실험실 환경에서 신호발생기와 스펙트럼분석기를 이용하여 펄스형 전자파 신호를 측정할 수 있는 다양한 방법들을 검토하여 측정방법 초안을 마련하였으며 실제 펄스파 신호를 발생하는 무선국 운영환경에서 측정방법 초안을 비교·검증하면서 붙임1의 측정방법(안)을 마련하였다.

이렇게 마련한 스펙트럼분석기를 이용한 펄스형 전자파 신호 측정방법(안)은 우리 연구원 차원에서 마련한 안이다. 따라서 내년 1~3월경에는 전자파 측정과 관련한 산학연 전문가와 실제 전자파강도 측정업무를 수행하는 관련 기관 담당자 등이 참여하는 연구반을 운영하여 측정방법(안)을 다시 한 번 검토하고 실측을 통해 검증을 수행할 예정이다. 이와 같이 내년에는 관련 전문가로 구성된 연구반 회의를 통해 최종 측정방법(안)을 마련하여 대국민 의견수렴을 거친 후 관련 고시(전자파강도 측정기준)를 개정할 예정이다.

제3장 전기자동차 전자파 인체영향 평가방법 연구

제1절 추진 배경

전기자동차는 친환경 자동차 중 하나이며 전 세계적으로 크게 각광을 받고 있는 아이템으로 기존 엔진자동차(디젤, 가솔린, LPG 등)와 달리 전기에너지를 동력으로 움직이는 자동차이다. 1800년대에 처음 개발된 전기자동차는 충전시간, 무게, 가격, 배터리 용량 등의 문제로 엔진자동차에 밀려 대중화에 실패하였으나, 배터리 관련 기술의 발달 및 각국의 친환경 정책으로 지금은 장차 엔진자동차의 아성을 위협할 정도로 성장 가능성이 있다고 평가받고 있다. 전기자동차와 엔진자동차의 가장 큰 차이점은 앞서 언급한 것처럼 동력원이다. 전기자동차는 엔진 대신 모터가 동력원이 된다. 일반적으로 전기를 사용하는 장치에서는 전자파가 발생하기 때문에, 사람들은 엔진자동차보다 전기자동차에서 더 많은 전자파가 발생할 것이라고 생각하고 염려할 가능성이 있다. 기본적으로 자동차에 대한 기준과 평가방법은 국토교통부의 소관이지만, 전자파 인체노출과 관련하여서는 과학기술정보통신부 소관이므로 본원에서는 전기자동차 EMF 연구반을 구성 및 운영하여 전기자동차의 전자파의 인체영향 평가를 위해 자기장 측정하는 방법을 연구하였다.



그림 3-1 전기자동차 EMF 연구반 운영 현황

전기자동차 EMF 연구반은 학계, 제조업체, 연구계, 정부 등 자동차 관련 다양한 분야의 전문가 20여명으로 구성되어 있으며, 국외 전기자동차의 자기장 측정방법 동향을 검토하고, 전기자동차에서의 자기장 강도를 측정한 결과를 바탕으로 전기자동차의 전자파 인체영향 평가방법을 마련하였다.

제2절 국외 동향

전기자동차 환경에서의 전자파 인체영향 평가는 아직 다른 나라에서도 강제로 적용하지 않고 있다. 다만 중국에서는 녹색인증이라는 제도를 운영하며, 자동차 업체 스스로 관리하도록 권장하고 있다.

국제표준화 기구인 IEC(국제전기기술위원회)에서는 2013년부터 「PT(Project Team) 62764-1」¹⁾이라는 작업그룹을 운영하며, ‘자동차 환경에서의 전자·전기 장비에 의해 발생된 자기장에 대한 인체노출 측정 절차’에 대해서 논의하고 있다. 현재 CD(Committee Draft, 국제표준 제정 초안) 단계로 2019년 9월경 CDV(Committee Draft Vote, CD 문서에 대한 승인 투표) 절차를 진행할 예정이다. 62764-1 표준(안)에서는 일반적인 차량 사용 환경에서 인체가 닿을 수 있는 면적 전반에 걸쳐 측정토록 제시하고 있다.

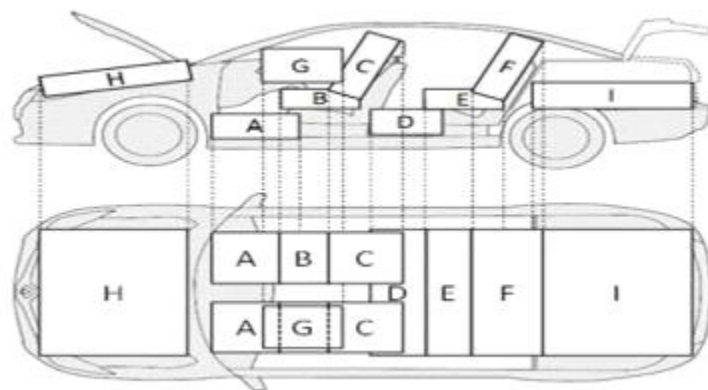


그림 3-2 IEC 62764-1에서 측정 위치를 나타내는 기본 체적 위치

1) PT-62764-1 : Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical equipment in the automotive environment with respect to human exposure. Marco KLINGLER(프랑스)가 의장을 맡고 있으며, 우리나라에서는 자동차부품연구원의 박상욱 박사가 위원으로 활동하고 있다.

최대 자기장 노출 위치를 결정하기 위해 전체 위치에서 초기 스캔 후, 최대 자기장 노출 위치에서 최종 측정을 진행한다. 충전량이 20 % 이상 일 때 정차시, 주행시, 충전시 각각 측정하며 주행시는 정속 상태($40 \text{ km/h} \pm 20 \%$)와 가속 상태($0 \sim 90 \text{ km/h}$, 가속도는 2.5 m/s^2 유지)로 측정 조건을 구분한다. 비접촉충전(WPT)은 무선전력전송기술의 평가방법에 대해 연구하는 작업반인 IEC TC106 WG9에서 다루고 있기 때문에, 비접촉충전에 대한 내용은 다루지 않는다.

일본에서는 일본자동차기술회에서 작성한 「자동차 환경에서의 전자파 인체노출에 대한 전자기장 측정방법 지침」인 TP-13002을 적용한다.(현재 중국에서도 본 지침을 준용하여 녹색인증을 시행하고 있다.) 본 지침에서 차량 내부는 좌석에서의 정해진 위치(좌석의 중심선을 통과하는 3군데, 그림 3-3 참조)에서만 측정하며, 차량 외부는 비접촉충전에 대해서만 언급하고 있다. IEC 62764-1와 달리 이륜 자동차, 버스에 대한 측정 위치도 제시되어 있으며, 정차 모드, 주행 모드(정속, 가속, 감속), 충전 모드에서 각각 측정토록 제시되어 있다.

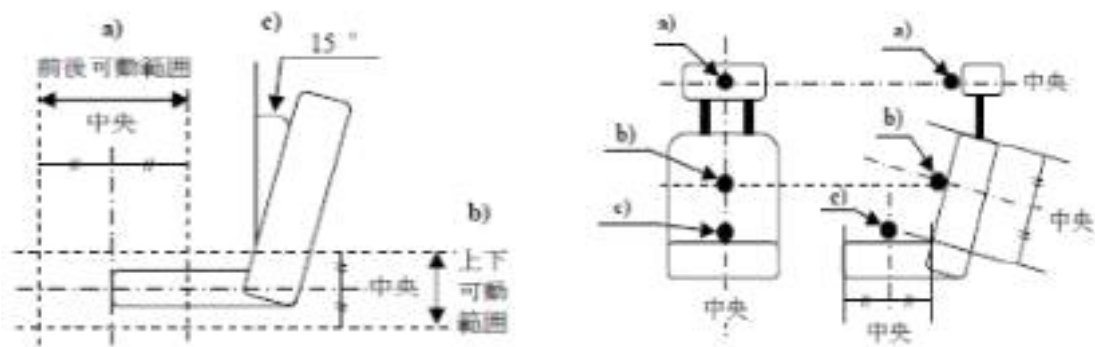


그림 3-3 TP-13002에서 제시하는 좌석의 측정 위치

제3절 전기자동차 자기장 측정

전자파의 측정은 일반적인 사용 환경(Conservative)에서의 최악의 상황(Worst case)을 고려하여 진행한다. 그러나 전기자동차 환경에서의 모든 경우를 파악하기 위해 전기자동차 내부를 모두 측정해보았다. 측

정 장비는 간이형 자기장 측정기²⁾를 사용하였다. 그리고 전기자동차는 충전방식에 따라 접촉충전과 무선전력전송기술을 이용한 비접촉충전이 있으나, 본 연구에서는 이미 대중화된 접촉충전 방식만 측정 범위로 포함하였다. 측정은 국내 자동차 제조업체의 차량 및 장비 협조로 진행되었다.

1. 측정 장비 조건

측정 장비의 측정 범위는 Low로 설정하고, 만약 측정시 Overload가 발생하면 High로 설정한다. Detect 모드는 RMS로 한다. 그 근거로는 IEC 62233, 전자과장도 측정 기준 고시 별표2, JASO TP13002 등 관련 표준·고시에서 200 ms의 과도 자기장은 무시하고, 측정 평균 시간을 1 s로 하도록 규정하고 있기 때문이다. 해당 자기장강도 측정 장비는 1 μ s 간격으로 측정된 신호를 샘플링 하여, PEAK 모드로 했을 때는 250 ms 동안 취득한 데이터로 계산하고, RMS 모드는 1 s 동안 취득한 데이터로 계산하기 때문에 전기자동차의 자기장 측정 시에는 RMS 모드로 설정한다.

2. 차량 조건

기본적으로 모든 전기부하(에어컨, 음량, 와이퍼, 열선, 라이트 등)를 켜 상태로 유지하고, 차량의 정차 모드, 주행 모드(정속·가속), 충전 모드 이상 3가지 모드에서 측정한다.

3. 측정 위치

측정 위치의 구분은 크게 엔진룸, 앞좌석(운전석, 조수석), 뒷좌석(운전석 뒤쪽, 조수석 뒤쪽), 앞좌석 바닥(운전석, 조수석), 뒷좌석 바닥(운전석 뒤쪽, 조수석 뒤쪽, 중앙), 트렁크로 나누었다. 측정 장비의 프로브로 전체 스캔하여 자기장 측정값이 많이 나오는 곳을 체크하였다.

2) 간이형 자기장 측정기 : 1 ~ 400 μ T 자기장 측정, 자기장 측정값을 전자파인체보호기준 대비 [%]로 계산

4. 측정 결과

총 3가지 모델의 전기자동차에 대해 측정한 결과는 다음과 같다.

표 3-2 전기자동차의 자기장 측정 결과

〈 전자파인체보호기준 대비 % 〉

| 구 분 | 정차 중 | | | 충전 시 | | | 주행 시 | | |
|-----|------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|
| | A 모델 | B 모델 | C 모델 | A 모델 | B 모델 | C 모델 | A 모델 | B 모델 | C 모델 |
| 좌석 | 8.37 | 12.34 | 4.69 | 0.62 | 2.17 | 7.24 | - | - | - |
| 바닥면 | 46.4 | 9.27 | 75.47 | 38.73 | 4.45 | 51.38 | 39.0 | - | - |
| 엔진룸 | 4.6 | 3.8 | 3.09 | 6.12 | 3 | 2.42 | 16.2 | - | - |
| 트렁크 | 7 | 1.08 | 2.96 | 0.41 | 4.04 | 2.76 | - | - | - |
| 충전기 | - | - | - | 3.28 | 2.61 | 0.39 | - | - | - |

위 표는 각 차량 상태별, 위치별 자기장을 측정한 결과로서, 전자파인체 보호기준 대비 몇 %의 전자파가 나오는지 나타내었다. B와 C 모델의 경우 측정 일정상 주행 조건을 측정하지 못하였다. 세 가지 모델 모두 조수석 바닥면에서 상대적으로 많은 전자파가 발생하였다. 이는 그 부근에 에어컨 모터가 있기 때문이라고 추측하고 있다. 좌석의 경우에는 히터를 사용했을 때 다른 부분에 비해 자기장 수치가 높게 나왔다. 그 외 엔진룸이나 트렁크에서는 10 % 내외의 수치가 측정되었다.

제4절 전기자동차 자기장 측정방법(안)

기본적으로 IEC 62764-1 표준(안)의 내용을 기반으로 자기장 측정방법(안)을 작성하였다. 그리고 일반 생활환경에서 사용하는 가전제품의 자기장 측정방법인 IEC 62233도 함께 참고하였다. 본 측정방법의 적용 범위는 구동계 모터를 사용하고, 자동차관리법 제3조1항의 승용자동차와 승합자동차에 한정하였으며, 무선충전 차량은 제외하였다. 전기자동차 자기장 측정방법은 실제 사용 환경을 고려, 인체가 전자파에 노출될 수 있는 지점을 선정하여 평가하였다. 측정 조건은 일시 간헐적으로 동작하는 기능의 전장품(경적, 전동 미러 등)은 제외하고 상대적으로 지속적

인 자기장 노출 환경만 포함하며, 측정 기준치 요구 사항의 10 % 미만의 자기장 값을 갖는 장소에서 수행하였다. 1열 좌석은 수평으로 중앙, 수직으로 가장 낮은 위치로 조절하며, 1열 이후 좌석은 가장 뒤로 이동한다. 또한 모든 좌석의 등받이는 수직으로 약 15 ° 뒤로 조절한다. 단 등받이 조절이 불가할 경우, 최대한 뒤로 조절한다. 차량 상태에 대한 기본 조건은 다음과 같다.

표 3-3 전기자동차의 자기장 측정 시 차량 상태 조건

| 구 분 | 정차 상태 | 주행 상태 | | 충전 상태 |
|-------|----------|--------|----------|---------|
| | | 정 속 | 가 속 | |
| 기본 상태 | 운전 준비 상태 | 좌동 | 좌동 | 차 열쇠 분리 |
| 편의 장치 | 최대 부하 | 전원 OFF | 정차 시와 동일 | 전원 OFF |

전기자동차의 자기장 측정은 시간영역평가 방법에 따라 수행하며, 전자파인체보호기준 내 자기장 강도 기준의 주파수 의존성을 고려하여 평가한다. 각 측정 위치에 대한 자기장 측정은 다음의 두 단계로 수행한다.

- 최대 자기장 노출 위치를 결정하기 위해 전체 위치에서 1차 스캔
- 최대 자기장 노출 위치에서의 최종 측정

위 스캔 시, 공간 최대값에 대한 값과 위치가 모두 정확히 측정할 수 있도록 측정 장비의 프로브를 천천히 이동하여야 한다.

차량 상태에 따른 측정 절차는 다음과 같다.

1. 정차상태 : 기어 중립과 변속기 1단 이상(또는 D) 둘 다 측정하여 최악의 경우를 결정하고, 기본 체적 위치(트렁크, 엔진룸, 좌석, 바닥면 등)의 모든 공간을 측정한다. 차량 충전 상태는 최대치의 20 % 이상이어야 한다.

2. 주행 상태(정속) : 40 km/h 의 일정 속도로 주행 중인 조건에서 트렁

크와 엔진룸을 제외한 모든 기본 체적 위치를 측정한다. 차량 충전 상태는 최대치의 20 % 이상이어야 한다.

3. 주행 상태(가속) : 정지 ~ 90 km/h 사이에서 측정하며, 10 km/h부터 70 km/h사이에서의 가속도는 최소 2.5 m/s^2 이상(10 km/h부터 70 km/h까지 6초 이내 도달)이어야 한다. 그리고 정속 주행 상태에서 결정된 최대 자기장 노출 위치에서 가속 주행하는 상태에서 최대 자기장 노출값을 측정한다. 차량 충전 상태는 가속 주행에 충분한 상태이어야 한다.

4. 충전 상태 : 충전 시스템(소켓, 케이블) 및 기본 체적 위치의 모든 공간을 측정하며, 충전 케이블의 경우, 충전 소켓으로부터 50 cm 이격된 곳까지 측정하여야 한다. 차량 충전 상태는 최대치의 20 % ~ 80 % 이어야 한다. 단, 배전반 및 충전 스테이션과 같은 다른 자기장 소스를 측정하지 않도록 주의하여야 한다.

모든 측정 결과에 대한 내용들은 측정 결과보고서에 기재하여야 하며, 그 주요 내용은 다음과 같다.

- 차량 종류(하이브리드차, 전기차, 수소연료차 등)
- 측정일, 측정 환경 및 측정 주파수 범위
- 측정 장비의 규격
- 차량 상태 및 측정 위치
- 차량 상태별, 측정 위치별 측정 최대값
- 그 외 측정 진행 상 특이점 및 참고 사항

측정 결과보고서의 뒷장에는 각 측정 위치를 파악할 수 있도록 각 기본 체적 위치를 9개 구역으로 구분하여 기재할 수 있는 표를 추가하였다. 이상 본 연구를 통해 만들어진 자기장 측정방법(안)은 붙임2로 첨부하였다.

제5절 결론 및 향후 계획

이 장에서는 전기자동차 환경에서 자기장을 측정하는 방법을 연구하여 제시하였다. 아직 승용차 및 승합차·차량 내부 환경의 측정에 한정되어 있으므로, 다양한 차종 및 차량 외부 환경에 대한 측정도 고려할 필요가 있다. 향후 본 측정방법을 기본으로 하여 국가표준으로 작업할 예정이다, 그 후 전자파강도 측정기준의 별표로서 포함할 예정이다. 현재 IEC에서 작업 중인 IEC 62764-1(안)에서는 감속에 대한 부분은 포함하지 않으므로 그에 대한 타당성 검증이 필요하며, 차량 내 특정 소스(주파수원)에 대한 개별 연구가 추가로 필요하다. 또한 무선전력전송기술을 이용한 무선충전 전기자동차의 자기장 측정방법(안)에 대한 추가 연구가 필요하며, 수소연료 자동차, 자율주행 자동차 등 ‘진화된’ 전기자동차의 전자파 인체노출량 평가방법에 대한 대응도 필요할 것으로 판단된다.

제4장 고속 SAR 측정방법 연구

제1절 개 요

최근 휴대전화 및 이동통신 기술의 발달로 인한 이동통신 단말기의 전자파흡수율 (SAR, Specific Absorption Rate) 측정 조건이 기하급수적으로 증가함에 따라 전자파흡수율 적합성 평가에 소요되는 시간과 비용도 이에 비례하여 증가되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 현재 국제적으로 측정시간을 단축 할 수 있는 고속 SAR 측정시스템에 대한 연구가 활발히 논의중에 있으며 국내에서도 휴대전화 적합성 평가시 과도한 인증 비용과 시간을 단축 할 수 있는 방법을 연구하기 위하여 고속 SAR 측정방법 연구를 진행하였다. 기존 전자파흡수율 측정은 그림 4-1과 같은 정규 SAR 측정시스템을 이용하여 측정되어 왔으며, 정규 SAR 측정시스템은 하나의 프로브와 프로브를 움직이는 로봇으로 구성되어 있다. 정규 SAR 시스템의 측정 시간은 1회 측정 시 약 20분 정도 소요되며, 최신 이동통신 단말기의 경우 WCDMA, LTE, WLAN 등 여러 통신방식의 밴드와 채널로 구성되어 있어 단말기 측정 시간이 한 대당 약 40일~50일 정도 소요되는 실정이다.



그림 4-1 정규 전자파흡수율 측정시스템

국내·외에서 논의 되고 있는 고속 SAR 시스템은 하나의 프로브로 측정하는 정규 SAR 시스템과 달리 100여개의 프로브가 모의인체 내부에 내장되어 있어 모의인체 위치별로 흡수되는 전자파의 양을 한 번에 측정을 할 수가 있어 측정시간을 약 3~5초로 단축할 수 있는 장점이 있는 반면, 모의인체 내부에 프로브가 조밀하게 내장됨으로써 프로브간 간섭 문제가 발생할 수 있는 단점이 있다. 한편 고속 SAR 측정시스템은 정규 SAR 측정시스템과는 달리 그림 4-2와 같이 3개 모의인체(왼쪽 및 오른쪽 머리 모의인체, 몸통 모의인체)로 구성되어 있으며, 각 모의인체 내부는 광대역 모의인체 용액으로 채워져 밀폐되어 있어 광대역 모의인체 용액 사용으로 인해 측정 불확정도가 높아지는 단점이 있다. 이에 따라 국제전기기술위원회 전자파인체노출량 평가 방법 위원회(IEC TC106)에서는 고속 SAR 측정시스템에 대한 국제 표준화가 진행 중에 있으며 국내에서도 고속 SAR 측정시스템을 휴대전화 SAR 적합성 평가에 활용하여 인증 시간 및 비용을 감소시키기 위한 방안을 마련하기 위하여 고속 SAR 측정시스템 이용방안 연구를 진행하였다.



그림 4-2 상용 고속 전자파흡수율 측정시스템

제2절 고속 SAR 측정시스템 유효성 평가 방법 연구

이동통신 단말기의 SAR 적합성 평가시 고속 SAR 측정시스템을 이용한 측정방법을 마련하기 위하여 3가지 방법, 즉 ‘컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 통한 수치해석 연구’, ‘유효성 검사 공동연구’, ‘고속 SAR 연구반 운영을 통한 측정방법(안)마련 연구’를 진행하였다.

여기서 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 통한 수치해석 연구에서는 기존 고속 SAR 측정시스템의 유효성 측정방법연구를 위하여 먼저 고속 SAR 측정시스템의 유효성 검사 위치를 선정하고 이렇게 선정된 위치에서 컴퓨터 수치해석 프로그램을 이용하여 각 위치별 SAR값을 계산하였다. 유효성 검사 위치는 지난 16년도까지 적합성평가 시험을 받은 이동통신 단말기의 시험성적서 상의 해당 단말기의 핫스팟(전자파흡수율 최대지점)위치와 고속 SAR 측정시스템의 프로브 위치를 종합적으로 고려하여 선정하였다. 그림 4-3은 최종 선정된 유효성 평가 위치를 보여주고 있다. 유효성 평가 위치 선정 후 머리 모의인체의 CAD 파일을 이용하여 다이폴 안테나가 모의인체로부터 수직이 될 수 있도록 각 위치에 따른 법선을 정의한 후 다이폴 안테나가 수직이 되도록 설정하여 수치해석을 수행하였다. 수치해석 조건은 위 도출된 5가지 측정 위치에 대하여 ERP(귀기준점)를 기준으로 다이폴 안테나를 0°, 90°로 각각 거치한 후 계산하였다. 측정 주파수에 따른 이격거리는 국내 전자파흡수율 측정방법 고시와 IEC 국제표준인 IEC 62209 문서를 참조하였으며, 835 MHz는 13 mm, 1800 MHz는 7 mm로 이격하여 계산하였다.

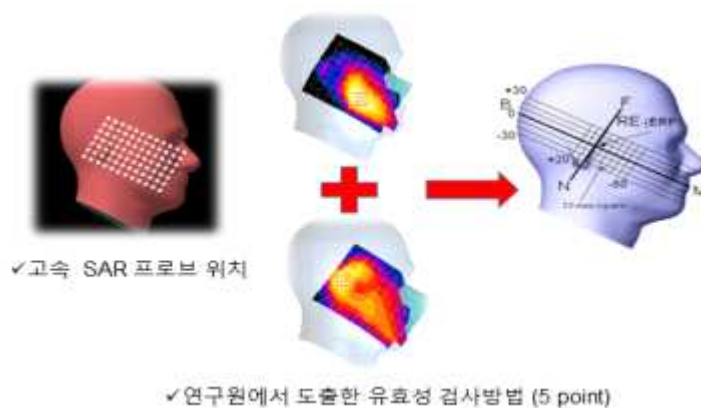


그림 4-3 국내에서 검토된 유효성 검사 위치

현재 고속 SAR 측정시스템의 유효성 평가방법의 기준값에 대해서는 국제회의에서 아직 명확히 정해지지 않은 상태이므로 수치해석을 통하여 계산된 유효성 결과값의 신뢰성을 확보하기 위하여 IEC 국제표준(62209)에서 제시하고 있는 정규 SAR 측정시스템의 835 MHz, 1800 MHz 대역의 1 g, 10 g SAR 유효성 기준값과 비교하였다.

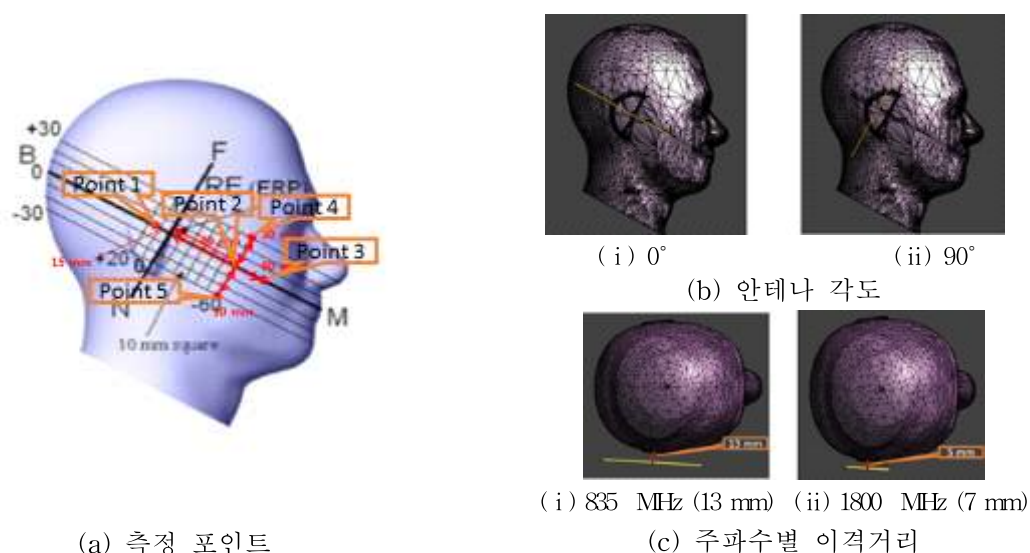


그림 4-4 국내 고속 SAR 유효성 검사 수치해석

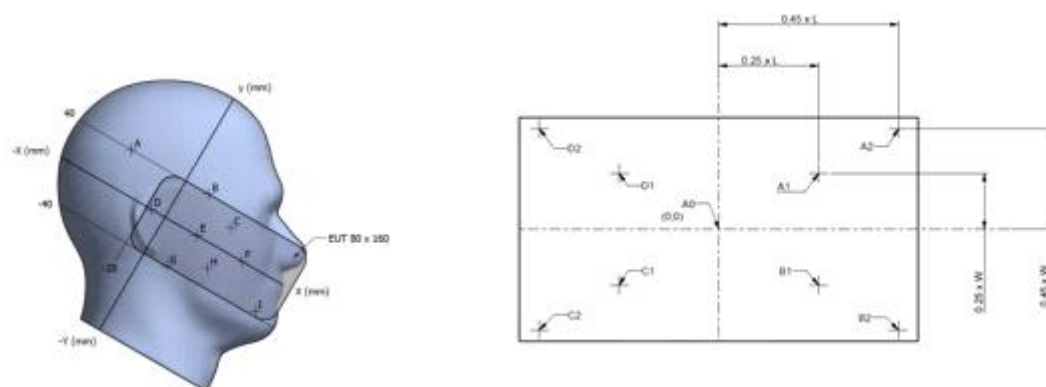
정규 SAR 측정시스템의 유효성 검사의 경우 고속 SAR 측정시스템과 달리 몸통 모의인체(Flat Phantom)의 한 지점에서 측정하므로 단순비교를 하기는 어렵겠지만, 고속 SAR 측정시스템의 유효성 검사방법이 아직 정립되지 않아 이러한 방식으로 단순 비교하였다. 정규 SAR 유효성 검사 기준값과 비교 결과 약 20 %의 오차범위를 보이고 있다. 이러한 오차가 발생한 원인으로는 고속 SAR 측정시스템이 정규 SAR 측정시스템과 달리 모의인체 내부에 수십여 개의 프로브로 구성되어 있어 프로브간 간섭에 의해 오차가 다소 크게 발생한 것으로 추정된다. 이러한 연구 결과는 향후 고속 SAR 측정방법과 유효성 검사 방법 마련에 대한 검증 자료로 활용할 계획이며, 자세한 측정 결과 값은 표 4-1에 나타내었다.

표 4-1 고속 SAR 측정시스템의 유효성 수치해석 결과

| 구분 | 각도 | 835 MHz | | 1800 MHz | | IEC 62209-1기준 | | | |
|---------|-----|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| | | 1g SAR (W/kg) | 10g SAR (W/kg) | 1g SAR (W/kg) | 10g SAR (W/kg) | 835 MHz | | 1800 MHz | |
| | | 1g SAR (W/kg) | 10g SAR (W/kg) | 1g SAR (W/kg) | 10g SAR (W/kg) | 1g SAR (W/kg) | 10g SAR (W/kg) | 1g SAR (W/kg) | 10g SAR (W/kg) |
| Point 1 | 0도 | 8.48 | 5.66 | 29.2 | 16.1 | 9.56 | 6.22 | 38.4 | 20.1 |
| | 90도 | 8.08 | 5.52 | 28.9 | 15.9 | | | | |
| Point 2 | 0도 | 11.3 | 7.43 | 52.4 | 26 | | | | |
| | 90도 | 11.7 | 7.55 | 50.7 | 25.5 | | | | |
| Point 3 | 0도 | 13.7 | 9.06 | 51.2 | 25.7 | | | | |
| | 90도 | 11.5 | 7.57 | 50.3 | 25.7 | | | | |
| Point 4 | 0도 | 12.5 | 8.3 | 41.5 | 21.8 | | | | |
| | 90도 | 10.5 | 7.05 | 42.1 | 22 | | | | |
| Point 5 | 0도 | 10.2 | 6.89 | 41.4 | 21.5 | | | | |
| | 90도 | 8.94 | 6.09 | 41.1 | 21.5 | | | | |

유효성 평가방법 마련을 위한 두 번째 연구로는 아직 고속 SAR 측정시스템의 국제표준 문서가 발행되지는 않았지만, 현재 논의되고 있는 고속 SAR 측정시스템의 유효성 검사 방법에 대하여 스위스와 공동 연구를 수행하여 측정 결과값을 분석하였다. 공동연구에 수행된 고속 SAR 측정시스템은 총 두 대이다. 스위스와 공동측정 연구에서는 현재 국제적으로 유효성 검사를 위해 논의되고 있는 다이폴 안테나와 V-PIFA 안테나를 이용하여 750 MHz 대역부터 3,700 MHz 대역까지의 WCDMA, LTE 등 이동통신 주파수에 대하여 측정을 실시하였다. 그리고 유효성 검사의 측정 위치는 그림 4-5 와 같이 A~I 까지 총 9개의 위치에서 측정을 실시하였으며, 측정 주파수 대역에 따라 이격거리를 각각 다르게(5, 10, 25 mm)하여 측정하였다. 또한 현재 논의되고 있는 유효성 검사 방법의 경우 측정 주파수와 유효성 평가에 사용되는 안테나별로 입력 파워(3, 5, 10, 14, 15, 24, 30 dBm)가 서로 다르며, 안테나의 측정 각도(0, 22.5, 45, 67.5, 90°)도 서로 다르게 평가하도록 명시하고 있다. 그림 4-5는 국제적으로 논의되고

있는 유효성 평가 방법 상의 측정위치를 보여준다.



(a)머리 모의인체의 측정 위치

(b)몸통 모의인체의 측정 위치

그림 4-5 국제표준문서의 유효성 측정방법 위치

논의되고 있는 국제 표준의 고속 SAR 유효성 평가방법에 따른 측정 횟수는 몸통 모의인체의 경우 246번, 머리 모의인체의 경우는 806번 실시하였다. 국제적으로 논의되고 있는 고속 SAR 측정시스템의 불확정도는 35 %수준이며, 이 수치는 '16년 캐나다 산업부에서 현재 상용 되고 있는 3대의 고속 SAR 측정시스템을 대상으로 수행한 국제고속 SAR 비교연구 결과로 고속 SAR 측정시스템 3대 모두가 측정값 신뢰도 95%를 만족할 수 있는 최소한의 불확정도 범위를 나타내고 있다. 측정결과, A 시스템 경우 불확정도 30%(몸통 모의인체) ~ 35%(머리 모의인체)이내에 모든 유효성 측정 결과 값들이 포함되었으며, B 시스템의 경우 최대 불확정도 45% 이내에 모든 측정 결과값들이 포함되었다. 특히 B 시스템의 경우 V-PIFA 안테나를 이용하여 유효성 검사 측정시 약 80 %이상 오차 범위를 벗어나는 결과를 보였으며, 이는 B 시스템의 경우 국제적으로 유효성 검사방법이 논의되기 전에 자체적으로 패치 안테나를 이용하여 유효성 검사를 진행하였으며, 현재 임시표준(안)에서 논의되고 있는 V-PIFA 안테나를 이용한 유효성 검증 방법이 시스템에 적용되지 않았기 때문에 오차 범위가 크게 나타나는 것으로 추정된다. 세부적인 측정 결과값에 대해서는 공동연구를 수행한 스위스에서 측정 및 세부 분석한 결과값에 대하여 비공개를 요청하였기 때문에 본 연구보고서에는 자세한 측정 결과값에 대

해서 수록하지 않았다.

고속 SAR 측정방법 연구를 위한 세 번째 방식으로 고속 SAR 연구반 운영을 진행하였다. 고속 SAR 연구반의 운영 최종 목적은 고속 SAR 측정지침 마련을 위한 고속 SAR 측정시스템의 적용방안 등이다. 이와 관련한 세부 내용은 제3절에 기술하였다.

제3절 고속 SAR 측정 지침 마련을 위한 연구

고속 SAR 측정방법 지침(안) 마련을 위하여 산·학·연·시험기관의 전문가들로 고속 SAR 연구반을 구성하였다. 연구반에서 논의한 주요 사항은 휴대전화 SAR 적합성 평가시 고속 SAR 측정시스템을 적용할 주파수 범위와 적용방식에 관한 사항이었다. 적용 주파수 범위의 경우, 5 GHz 대역의 WLAN을 고려하여 6 GHz 대역까지 적용하는 방안을 검토하였으며, 적용방식의 경우 고속 SAR 측정시스템의 불확정도를 고려한 SAR 측정방법에 적용하여 측정시간을 줄일 수 있는 방안을 마련하는 것을 가장 큰 목표로 설정하였다. 적용방법의 경우, 현재 고속 SAR 측정시스템으로는 정규 SAR 측정시스템을 완전히 대체할 수 없으므로, 고속 SAR 측정시스템을 이용하여 이동통신 단말기의 SAR 최대조건을 도출하고, 도출된 최대 조건에서 정규 SAR 측정시스템으로 측정하여 최대 SAR 값을 결정하는 ‘스크린방식’ 적용이 활발히 논의되었다.

주파수 범위를 6 GHz 까지 적용하는 방법을 검토하기 위하여 국내 제 조사와 공동 연구를 통해 측정 및 분석을 함께 수행하였다. 본 연구를 위해 3대의 고속 SAR 측정시스템 중 2대의 측정시스템 만을 이용하였는데, 이는 한 측정시스템의 경우 측정 주파수가 3 GHz 대역까지 제한되어 있어 공동연구 평가 대상에 제외하였기 때문이다. 측정방법은 기존 정규 SAR 측정시스템으로 인증 받았던 휴대전화 단말기를 사용하여 고속 SAR 측정시스템이 정규 SAR 측정시스템에서 측정한 최대 SAR 조건을 동일하게 도출하는지 여부를 확인하였다. 측정에 사용된 이동통신 단말기는 표 4-2에 나타내었다.

표 4-2. 고속 SAR 5 GHz 대역 측정 대상 및 횟수

| 대상 모델 | 시험 구성 | Test case | | |
|-----------------|------------|-----------|---------|---------|
| | | 정규 | 고속 A시스템 | 고속 B시스템 |
| A 휴대전화 | Head, Body | 40 | 40 | 40 |
| B 휴대전화 | Head, Body | 40 | 40 | 40 |
| Total Test case | | 80 | 80 | 80 |

총 측정 횟수는 표 4-2와 같이 고속 SAR 측정시스템 2대와 정규 SAR 측정시스템을 이용하여 각 시스템별로 80번씩 총 240번의 측정을 실시하였다. A 시스템은 머리 SAR 측정결과의 경우 88%, 몸통 SAR 측정결과의 경우 75%로 최대 SAR 값 위치를 정규 SAR 측정시스템의 측정결과와 평균 81% 수준으로 동일하게 도출하였으며, B 시스템은 머리 SAR 측정결과의 경우 63%, 몸통 SAR 측정결과의 경우 88 %로 정규 SAR 측정시스템의 측정결과와 평균 75% 수준으로 최대 SAR 값 위치를 동일하게 도출하였다. 조건 일치율에서 오차가 발생한 경우는 주로 고속 SAR 측정시스템의 측정값의 차이가 소수점 둘째자리나 셋째자리에서 발생한 경우인데, 이는 측정값 변화가 너무 작을 때 고속 SAR 측정시스템이 최대값 조건을 제대로 찾지 못한 것으로 보인다. 현재까지 측정 및 분석한 결과로만을 기준으로 판단할 때 휴대전화 SAR 적합성 평가시 고속 SAR 측정시스템을 스크린방식으로 적용한다면 적용 주파수 범위를 최대 6 GHz 대역까지 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 표4-3은 2대 측정시스템의 세부적인 측정 결과로서, 빨간색 박스로 표시된 값이 시스템별 최종 일치율을 나타내고 있다.

표 4-3. 고속 SAR 5GHz 대역 측정 결과

| 장비 | 구분 | 밴드 수 | 조건 일치 | 조건 불일치 | 조건 일치율 | SAR값 편차 (정규 SAR 측정시스템 기준 최대) |
|-------------|------|------|----------|--------|--------|------------------------------------|
| 고속 A 시스템 | Head | 8 | 7 | 1 | 88 % | 0.005 W/kg |
| | Body | 8 | 6 | 2 | 75 % | 0.014 W/kg |
| Total | - | 16 | 13 | 3 | 81 % | |
| 고속 B 시스템 | Head | 8 | 5 | 3 | 63 % | 0.027 W/kg |
| | Body | 8 | 7 | 1 | 88 % | 0.0054 W/kg |
| Total | - | 16 | 12 | 4 | 75 % | |

한편 고속 SAR 측정시스템을 이용한 스크린방식 적용시 고속 SAR 측정시스템의 측정값의 불확정도를 고려하여 스크린방식 적용 임계치 값에 대한 논의를 진행하였다. ‘적용 임계치 값’의 의미는 특정 기준값 이하일 때는 스크린방식을 적용하며, 특정 기준값 이상이면 스크린방식 적용하지

않고 기존 정규 SAR 측정시스템을 이용하여 기존 측정방법과 똑같이 정규 SAR 측정시스템으로 최대조건 도출 및 최대 SAR 값을 결정하고자 할 때의 기준값을 의미한다. 적용 임계치 값 논의를 위하여 IEC에서 회람 및 검토 중인 62209-1,2의 통합문서('19년 발간예정)에 포함되어 있는 고속 SAR 측정 절차 계산 방식에 따라 계산하였다. 측정 절차 계산 공식은 측정시스템의 불확정도의 인자를 계산식에 넣어 시스템의 적용 임계치 기준값을 계산할 수 있도록 하고 있다. 이에 따라 '16년도 캐나다 산업부에서 발표한 고속 SAR 측정시스템의 측정값의 95% 신뢰도에서의 불확정도를 고려한 수치 35%를 고려하여 임계치 값을 산출하였다. 계산에 사용된 수식은 표 4-4에 나타내었다.

표 4-4. IEC/IEEE 62209 통합 문서 규격내 Fast SAR 측정 절차

※ IEC/IEEE 62209 draft 규격 내 Fast SAR testing section ※

c) Use the full SAR method to measure all other test configurations $\{i,j\}$, at the channel giving highest fast SAR result, where the condition of Formula (10) is met. The NOTE in step b) applies.

$$SAR_{fast,i,j} \geq SAR_{max,fast} \times \left(B_{fast,i} - \sqrt{B_{fast,i}^2 - 1} \right) \quad (10)$$

$B_{fast,i}$ is calculated according to Formula (11).

$$B_{fast,i} = \frac{1}{1 - (1.64 U_{fast,i})^2} \quad (11)$$

$U_{fast,i}$ in Formula (11) is the standard measurement uncertainty ($k = 1$) of the fast SAR measurements at the i^{th} frequency band and modulation combination.

NOTE 1: When using Class 2 system for fast SAR measurements, $U_{fast,i}$ is the standard uncertainty or 35% / 2 = 17.5%, whichever is greater. NOTE 2: Formulas (10) and (11) are derived for a 95% confidence interval where $SAR_{fast,i,j} \leq SAR_{max,fast}$. This confidence interval is given as:

$$(SAR_{max,fast} - SAR_{fast,i,j}) - 1.64 U_{fast,i} \sqrt{SAR_{max,fast}^2 + SAR_{fast,i,j}^2} \leq 0. \text{ Solving for } SAR_{fast,i,j} \text{ results in Formulas (10) and (11), where } U_{fast,i} \text{ is the standard uncertainty and has a Gaussian distribution. The value of 1.64 is the factor for a one-sided 95\% confidence interval of a Gaussian distributed random variable.}$$

d) Use the full SAR method to measure all other test configurations where the condition of Formula (12) is met. The NOTE in step b) and NOTE 1 in step c) apply.

$$SAR_{fast,i,j} \geq SAR_{max} \times \left(B_{fast,i} - \sqrt{B_{fast,i}^2 - 1} \right) \quad (12)$$

현재 논의되고 있는 3대의 고속 SAR 측정시스템 불확정도 35%를 고려하여 표 4-4의 11번 공식에 대입하여 계산한 결과 $B_{fast} = 1.0898$ 로 계산이 되며, 다시 12번 공식에 따라 SAR 임계치 값을 적용할 때, 정규 SAR 측정이 필요한 임계치 값을 계산한 결과, 적용 임계치 값은 약 1.1

W/kg값이 된다.(수식 (8) 참조)

$$1.6 \times (1.0898 - \sqrt{1.0898^2 - 1}) = 1.051 \text{ W/Kg} \approx 1.1 \text{ W/Kg} \quad (8)$$

최근 출시되는 이동통신 단말기의 SAR 값은 최대 0.5~0.8 W/kg 수준으로 만약 위 식으로 계산한 임계치 값을 적용할 경우, 전자파흡수율 측정 대상 이동통신 단말기중 약 80 %가 스크린방식으로 적용할 수 있을 것으로 판단되며 이에 따라 인증시간이나 인증비용도 충분히 감소할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 아직까지는 고속 SAR 측정시스템을 이용한 측정결과 값에 대한 신뢰성이 낮아, 지금 당장 이러한 방식을 적용하는 것은 적절하지 않다. 따라서 향후 고속 SAR 측정시스템을 휴대전화 SAR 적합성 평가시 스크린 방식으로 이용하는 방안을 제시하기 위해서는 고속 SAR 측정시스템의 측정값에 대한 신뢰성을 높일 수 있는 추가적인 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

제4절 향후 계획

고속 SAR 측정시스템을 이용한 전자파흡수율 측정방법 연구는 국내뿐만 아니라 국제적으로 전자파흡수율 측정방법 분야의 가장 큰 이슈로 진행되어 논의되고 있으며, 아직 국제적으로 고속 SAR 측정시스템을 이동통신 단말기의 SAR 적합성 평가방법에 반영하여 사용하지는 않지만, 최근 5G 기술 등 이동통신 기술이 발달할수록 휴대전화 SAR 적합성 평가시 소요되는 인증 시간과 비용에 대한 문제점은 커질 수밖에 없으므로, 고속 SAR 측정방법에 대해 앞으로 지속적으로 연구하여 국내에 먼저 반영하고, 국제적으로 고속 SAR 측정방법 연구를 선도해나갈 필요가 있다. 이에 따라 국립전파연구원에서는 2018년도에도 고속 SAR 연구반 운영 및 자체연구 수행을 통하여 고속 SAR 측정시스템의 신뢰성 확보 및 휴대전화 SAR 적합성 평가시 고속 SAR 측정시스템을 이용한 효율적인 측정방법 마련을 위한 연구를 계속 진행할 예정이다.

제5장 맺음말

본 연구보고서에서는 펄스형 고출력 무선국에서 발생하는 전자파의 인체보호기준 준수 여부를 평가하기 위하여 스펙트럼분석기를 이용하여 펄스형 신호의 전자파 강도를 측정하는 방법을 제시하였다. 이를 위해 실험실 환경과 실제 무선국 운용 환경에서 펄스형 전자파의 평균치와 피크치 전자파강도를 각각 측정하였으며, 그 측정결과 등을 분석하여 펄스형 전자파의 인체보호기준 준수여부를 평가할 측정방법(안)을 마련하였다. 이렇게 마련한 측정방법(안)은 내년 초 국내 전문가와 재검토 협의 후 관련 고시(전자파강도 측정기준) 개정에 반영할 예정이다.

한편 최근 전기자동차 및 자율자동차 산업이 빠르게 발전할 것으로 예상됨에 따라 금년에는 전기자동차에서 발생하는 전자파를 측정하는 방법을 연구하였다. 전기자동차로부터 발생하는 전자파로부터 인체를 보호하기 위하여 국제표준(IEC 62764-1)과 일본 자동차산업 자율표준(JASO)을 조사·분석하였고 실제 전기자동차에서 발생하는 전자파를 측정하여 전기자동차의 전자파 인체노출량 측정방법(안)을 마련하였다. 이번에 마련한 전기자동차의 전자파 측정방법(안)은 향후 국가 표준으로 제정하여 전기자동차 산업 발전에 대비할 예정이다.

최근 휴대전화 이용기술이 발전함에 휴대전화의 적합성 평가를 위한 측정방법과 평가시간도 비례하여 증가하고 있다. 이처럼 측정시간의 증가는 적합성 평가비용의 증가를 의미하며 이는 결국 휴대전화 단말기의 가격상승 요인으로 귀결된다. 따라서 우리 원에서는 휴대전화의 적합성 평가에 소요되는 SAR 측정시간을 단축하기 위하여 고속 SAR 측정시스템을 적합성 평가에 활용하는 방안을 연구하고 있으며 금년도 연구 결과를 통해 전자파흡수율 측정지침 개정(안)으로 마련하였다. 이번에 제시한 전자파흡수율 측정지침 개정(안)은 정규 SAR 측정 절차 중 일부를 고속 SAR 측정시스템으로 대체할 수 있는 방안을 제시하였다. 향후 내년에는 관련 산업계나 지정시험기관 등의 의견을 수렴하여 휴대전화 적합성 평가시 고속 SAR 측정시스템을 활용하는 최종안을 마련하여 실제 휴대전화 적합성 평가시 고속 SAR 측정시스템을 이용할 수 있도록 할 예정이다.

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 Rhoun 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關る電磁界測定方法”, 2013

스펙트럼분석기(SA)를 이용한 펄스형 전자파 측정방법(안)

여기서는 스펙트럼분석기를 이용하여 펄스형 신호의 전자파에 대한 인체보호기준 준수 여부를 측정/평가하기 위한 방법과 절차를 규정한다. 이를 위해 아래와 같이 2단계 절차(사전 측정, 본 측정)로 구분하여 측정방법을 규정한다.

- ① **사전 측정** : 펄스형 신호 전자파의 특성을 파악하기 위한 단계로서 펄스형 전자파의 중심주파수, 대역폭, 펄스간격(PW) 및 펄스주기(PRI)에 대한 정보를 측정을 통해 얻는다.
- ② **본 측정** : 사전 측정으로 얻은 특성 정보를 이용하여 펄스형 신호 전자파의 피크값(E_p)과 6분 평균값(E_{ave})을 측정 확인하는 방법과 절차를 규정한다.

1. 사전 측정

여기서는 스펙트럼분석기(SA)를 이용하여 펄스형 전자파의 인체보호기준 준수 여부를 측정하기 위해 앞서 사전에 필요한 정보를 얻는 것을 목적으로 한다. 즉 펄스형 신호의 중심 주파수, 대역폭, 펄스폭(PW), 펄스반복주기(PRI)에 대한 정보를 측정을 통해 구한다.

1-1. 중심주파수(CF), 대역폭 측정

① 펄스형 신호 전자파의 허가 주파수 대역 정보를 이용하여 스펙트럼분석기의 중심주파수(CF), 간격(Span), 분해능 대역폭(RBW)를 다음과 같이 설정한다.

- 중심주파수 : 허가 주파수 대역폭의 중앙
- 간격(Span) : 허가 주파수 대역폭과 동일(또는 2배)
- 분해능 대역폭(RBW) : 100 kHz
- 트레이스 모드 : Max-Hold

② 스펙트럼 분석기의 트레이스 모드를 Max-Hold로 두고 6분간 측정하여 다음과 같이 펄스형 신호의 채널 개수, 중심주파수(CF), 대역폭 정보를 구한다.

- 중심주파수(CF) : 측정된 신호 대역폭의 중앙 주파수값 (또는 최대 측정 주파수값)
- 대역폭 : 스펙트럼분석기로 측정된 잡음수준보다 10 dB 높은 주파수 대역폭 값

다만, 측정된 펄스형 신호의 최대값이 측정된 잡음수준보다 10 dB이상 높지 않은 경우에는 최대값의 3 dB 폭을 대역폭으로 한다.

1-2. 펄스폭(PW), 펄스반복주기(PRI) 측정

① 앞의 1-1절에서 측정한 펄스형 신호의 중심주파수와 대역폭 정보를 이용하여 스펙트럼분석기를 다음과 같이 설정한다.

- 중심주파수 : 1-1절에서 측정한 중심주파수(CF)
- 간격(Span) : 0 Hz
- 분해능 대역폭(RBW) : 1-1절에서 측정한 대역폭의 2배(또는 더 크게 설정)

다만 1-1절에서 측정한 대역폭이 스펙트럼분석기의 최대 분해능대역폭 (RBW)보다 큰 경우에는 분해능대역폭(RBW)을 가장 큰 값으로 설정한다.

② 스펙트럼분석기의 트레이스를 다음과 같이 설정한다

- 트레이스 1 : Actual Mode,
- 트레이스 2 : Max-Hold Mode

③ 스펙트럼분석기의 내부 트리거를 이용하여 펄스신호가 화면상에 정지된 위치에서 나타나도록 조정한다. 이때 스펙트럼분석기의 화면에 펄스형 신호가 다수 개 (3~5개) 보일 수 있도록 스펙트럼분석기의 sweep time을 적절히 조정한다.

스펙트럼 분석기의 트레이스 1으로 측정한 결과와 마커 기능을 이용하여 펄스형 신호의 펄스반복주기(PRI)를 구한다.

④ 펄스형 신호의 펄스폭(PW)이 모니터 상에서 보일 수 있도록 스펙트럼분석기의 sweep time을 ③에서 설정한 값보다 더 빠르게 조정하여 1분 이상(또는 레이더가 10회 이상 회전하는 시간) 측정한다.

⑤ 스펙트럼 분석기의 트레이스 1으로 측정한 결과와 마커 기능을 이용하여 펄스형 신호의 펄스폭(PW)을 구한다. 이때 펄스신호가 구형파가 아닌 경우, 피크 값 대비 3 dB 대역폭을 펄스폭(PW)으로 한다.

참고로 Max_Hold 모드로 측정(트레이스 2로 측정)한 최대값은 펄스형 신호의 피크값(E_p)에 해당한다. 이때 회전식의 경우 펄스형 신호의 3 dB 빔폭($\Delta\varphi$)에 대한 정보를 알고 있다면 아래 식에 따라 평균값(E_{ave})을 계산으로 산출할 수 있다

- 비 회전식 펄스신호 발생기 :

$$E_{ave} = E_p \cdot \sqrt{DC} = E_p \cdot \sqrt{PW \cdot PRF} = E_p \cdot \sqrt{PW/PRI}$$

- 회전식 펄스신호 발생기 :

$$\begin{aligned} E_{ave} &= E_p \cdot \sqrt{DC \cdot (\Delta\varphi/360)} = E_p \cdot \sqrt{(PW \cdot PRF) \cdot (\Delta\varphi/360)} \\ &= E_p \cdot \sqrt{(PW/PRI) \cdot (\Delta\varphi/360)} \end{aligned}$$

2. 본 측정

- ① 스펙트럼분석기를 1-2절에서와 동일하게 설정한다.
 - 중심주파수 : 1-1절에서 측정한 중심주파수(CF)
 - 간격(Span) : 0 Hz
 - 분해능 대역폭(RBW) : 1-1절에서 측정한 대역폭의 2배(또는 더 크게 설정)
- ② 스펙트럼분석기의 트레이스는 다음과 같이 설정한다
 - 트레이스 1 : Average Mode, 트레이스 2 : Max-Hold Mode이때 트레이스 1은 산술 평균값을 측정할 수 있도록 주의하여 Average 모드를 설정한다.
- ③ SA 내/외부 트리거를 모두 off 하고 트레이스 1, 2를 이용하여 펄스형 신호의 평균값(E_{ave})과 피크값(E_p)을 측정한다. 이때 SA의 sweep time은 가능한 작은 값(빠른 값)으로 설정하고 6분 이상 측정한다.(단, sweep time은 $3 \cdot PW$ 보다 크도록 설정)
- ④ 마커를 이용하여 트레이스 1과 트레이스 2의 최대값을 각각 구한다. 이 값들은 각각 펄스형 신호의 평균값(E_{ave})과 피크값(E_p)에 해당한다.
- ⑤ 펄스형 신호의 이용주파수가 10MHz 이상인 경우, 평균값(E_{ave})과 피크값(E_p)은 아래의 기준을 모두 만족하는지 확인한다.
 - (가) 레이더 신호의 평균값(E_{ave}) : (전자파 인체보호 기준값) 보다 작아야함
 - (나) 레이더 신호의 피크값(E_p) : (전자파 인체보호 기준값)*32 보다 작아야함
- ⑥ 1-1절에 측정한 펄스형 신호의 채널 갯수가 다수 개(N)이고, 인접 채널의 신호 주파수가 1-2절(또는 2절)에서 설정한 분해능대역폭(RBW)에 포함되지 않을 경우, 인접 채널 주파수에 대하여 1-1절과 2절을 각각 반복 측정하여 피크값(E_p)과 평균값(E_{ave})이 인체보호기준을 만족하는지 확인한다.
- ⑦ 펄스형 신호 채널 각각에 대하여 구한 레이더 신호의 평균값(E_{ave})을 이용하여 총 노출지수를 아래와 같이 계산한다. 이때 총 노출지수는 1보다 작아야만 한다.

$$\text{총 노출지수} = \sum_{i=1}^N (\text{노출지수})_i = \sum_{i=1}^N \left(\frac{E_{ave}}{\text{인체보호기준값}} \right)_i$$

- ⑧ 펄스형 신호 전자파는 ⑤와 ⑦을 모두 만족하여야 하며 어떤 한 값이라도 기준을 초과하는 경우 펄스형 신호는 인체보호기준을 초과함을 의미한다.

전기자동차의 자기장 측정방법

1. 개요

본 측정방법은 전기자동차에서 발생하는 10 Hz ~ 400 kHz의 자기장 측정방법을 규정하는 것을 목적으로 한다.

2. 적용 범위

본 측정방법을 적용하는 차량은 구동계 모터를 쓰는 차량이며, 자동차관리법 제3조 1항의 승용자동차와 승합자동차에 한정한다. 단, 무선전력전송기술을 이용하여 충전하는 자동차는 제외한다.

3. 참고규격

이 측정방법은 국제전기기술위원회(IEC, International Electrotechnical Commission)의 국제표준안(IEC 62764-1)인 「Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical equipment in the automotive environment with respect to human exposure」와 국제표준(IEC 62233) 「Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure」, 일본자동차기술회규격(JASO: Japanese Automotive Standards Organization) 기술 문서(TP-13002)인 「Measurement methods for electromagnetic field of vehicles with regards to human exposure」를 참고하였다.

4. 측정기기

자기장강도(자속밀도)는 100 cm^2 의 면적에서 평균값을 의미한다. 따라서 측정 프로브는 등방성 측정이 가능하도록 측정 면적이 $100 \text{ cm}^2 \pm 5 \text{ cm}^2$ 인 서로 수직을 이루는 세 개의 동심 코일로 이루어져야 하며, 측정 프로브의 외부 지름은 13 cm를 초과하지 않아야 한다. 프로브의 등방성 특성은 $\pm 2.5 \text{ dB}$ 이내이어야 하며, 프로브 고정용 지지대는 낮은 유전체 손실 탄젠트($\tan \delta \leq 0.05$)와 낮은 상대 유전율($\epsilon_r \leq 5.0$)값을 가져야 한다. 단방향 측정프로브를

사용할 경우에는 3축 방향에서 각각 측정된 자기장강도(자속밀도) 값의 벡터 합으로 최종값을 얻을 수 있으며, 이 측정값은 자기장 벡터의 방향과는 무관하여야 한다.

5. 측정조건

가. 측정은 지속적인 자기장 노출(연속 발생 소스 또는 팬, 와이퍼 등과 같은 반복적이고 일시적인 소스 포함)만을 포함하며, 운전자, 승객 또는 차량 자체에 의해 간혹 활성화되는 일시적인 기능의 전장품(예 : 경적, 전동 미러 및 도어록 모터 등)은 본 측정방법에서 다루지 않는다.

나. 측정은 운전자 및 승객 영역(차체), 화물 저장 공간, 엔진 및 전동 장치 영역에서 수행한다. 또한 측정은 측정 기준치 요구 사항의 10 % 미만의 주위 자기장 노출값을 갖는 장소에서 수행되어야 한다.

다. 측정은 일반적인 차량 사용 환경에서 수행해야 한다(예를 들어, 승객석의 탑승자는 안전벨트 장착이 가능한 위치에 앉아 있다고 가정한다). 구성 요소가 장착된 곳에서는 측정이 필요하지 않으며(측정을 수행하기 위해 굳이 구성 요소나 부품을 제거하지 않아도 된다) 좌석과 관련하여 다음과 같은 조건이 필요하다.

- 1) 조절이 가능한 경우, 1열(운전석 및 조수석)은 수평으로 중앙에 위치하며, 수직으로 가장 낮은 위치로 조절한다.
- 2) 조절이 가능한 경우, 1열 이후의 모든 좌석은 수평으로 가장 뒤로 이동시킨다.
- 3) 머리 받침은 완전히 뒤로 젖힌다.
- 4) 조절이 가능한 경우, 모든 좌석의 등받이는 수직에서 약 15°뒤로 조절하며, 15°뒤로 조절할 수 없는 좌석은 최대한 뒤로 조절한다.
- 5) 핸들은 수직, 수평 및 전후에 있어서 중앙에 위치하여야 한다.

라. 차량 내부에서 사람의 위치를 고려한 공간의 크기는 그림 1과 같다.

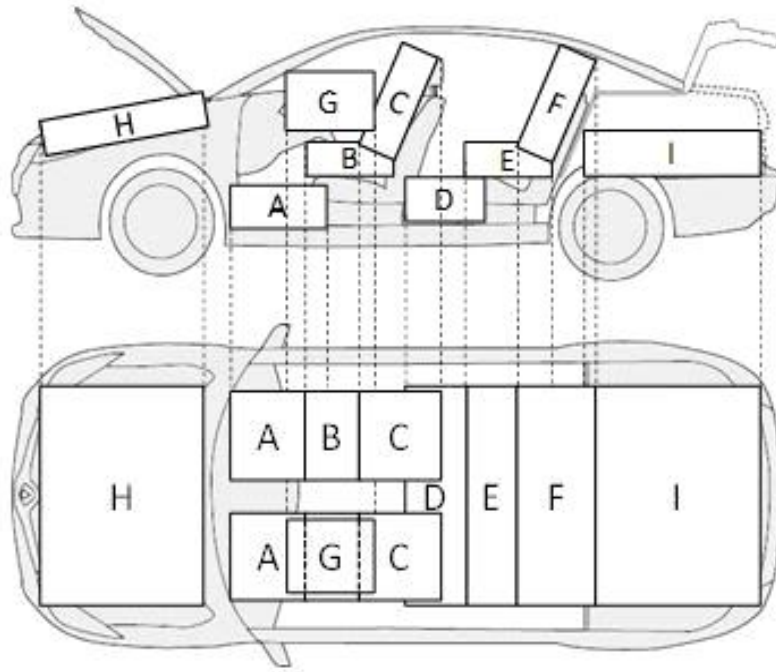


그림 1 - 차량 내부 승객의 측정 위치를 나타내는 기본 체적 위치

- 1) 운전석과 조수석의 경우, 승객은 (A) 발, (B) 다리, (C) 몸통 및 머리에 해당하는 각 3개 부분으로 표시하며, 뒷좌석의 경우, 승객은 (D) 발, (E) 다리, (F) 몸통 및 머리에 해당하는 3개의 공통 공간으로 표시한다.
- 2) (G)는 핸들에 있는 팔과 손을 나타낸다.(차량의 왼쪽과 오른쪽 중 하나 또는 양쪽에 있을 수 있다.)
- 3) (H) 및 (I)에서의 측정은 정차 및 충전 상태에서만, 엔진주행 및 전동 장치 작동 중에 사람들이 이 영역에 접근할 수 있는 경우에만 수행해야 한다.
- 4) (B), (C), (E) 및 (F)의 위치는 유아와 소아의 위치를 고려할 수 있다.
- 5) 운전자 위치 영역에서의 측정은 동력계 사용을 포함하는 다른 수단에 의해 수행될 수 있다(단, 측정 중 동력계의 작동으로 인한 사고를 피

하기 위해 적절한 안전 조치가 취해져야 한다).

마. 차량 상태별 세부 조건

1) 정차 상태

가) 차량 기본 상태

- 시동을 켜고 운전 준비 상태 유지
- 시험 전에 통상 사용 시의 동작 조건을 대표할 수 있을 정도로 충분한 시간 동안 기기를 동작시킴
- 5의 다목에서 요구되는 좌석 및 핸들 상태
- 해당 위치를 측정할 때 외에는 트렁크와 엔진룸의 보닛은 닫음

나) 편의 장치 상태

- 60초 이상 작동하는 전기 장비를 켜고 최대 부하로 설정

ex) 조명, 공기 히터 및 에어컨, 송풍기 모터, 라디오, 전방 및 후방 와이퍼, 창문 서리 제거 장치(열선), 시트 열선 등

2) 주행 상태(정속)

가) 차량 기본 상태

- 5의 다목에서 요구되는 좌석 및 핸들 상태

나) 편의 장치 상태

- 동력 전달장치(power train) 작동에 필요하지 않은 모든 전기 기능을 끄거나 분리

※ 설정 범위를 사용할 수 있지만, 전기 기능을 끄거나 분리할 수 없는 경우, 가장 낮은 자기장 노출 수준을 생성하는 것으로 설정

3) 주행 상태(가속)

가) 차량 기본 상태

- 5의 다목에서 요구되는 좌석 및 핸들 상태

나) 편의 장치 상태

- 정차 상태와 동일

4) 충전 상태

가) 차량 기본 상태

- 주차 브레이크 잠금
- 5의 다목에서 요구되는 좌석 및 핸들 상태
- 해당 위치를 측정할 때 외에는 트렁크와 엔진룸의 보닛은 닫음

나) 편의 장치 상태

- 차 열쇠 분리
- 모든 전자장비 전원 끄기

6. 측정방법

자기장의 측정방법은 다음의 시간영역평가 방법에 따라 수행하여야 한다. 여러 주파수 성분을 갖는 자기장의 경우, 전달 함수 A를 주파수의 함수인 자기장강도(자속밀도) 기준값의 역수가 되도록 구현함으로써, 자기장강도(자속밀도) 기준의 주파수 의존성을 고려한다. 별표 2 부록 A의 그림 1은 자기장강도 기준에 대한 주파수 의존도이다.

전달 함수 A는 자기장강도(자속밀도) 기준값의 역수이고, 정규화 주파수는 60 Hz로 한다. 전달 함수 A는 1차 필터를 사용하여 구현할 수 있다. 별표 2 부록 A의 그림 2는 전달 함수의 특성이다. 전달 함수의 시작점은 $f_1 = 10 \text{ Hz}$, 끝점은 $f_n = 400 \text{ kHz}$ 이어야 한다.

각 위치에 대한 자기장 노출 측정은 다음 두 단계로 수행되어야 한다.

- 1) 최대 자기장 노출 위치를 결정하기 위해 전체 위치의 1차 스캔
- 2) 최대 자기장 노출 위치에서의 최종 측정

측정 위치를 스캔할 때, 공간 최대값에 대한 값과 위치가 모두 정확히 측정할 수 있도록 프로브를 천천히 반복하여 이동해야 한다.

측정 결과는 차량 내 독립된 복수의 자기장 발생원임을 고려하여 가장 큰 측정값을 채택한다. 다만 지속시간이 200 ms 미만의 일시적인 자기장강도 값은 평가 대상에서 제외한다.

측정기의 응답 시간(최종값의 90 %에 이르기까지의 시간)은 1초를 넘지 말아야 한다.

자기장강도(자속밀도)값은 1초간의 시간평균을 이용하여 결정한다. 그러나 자기장 발생원에서 10 Hz ~ 400 kHz 신호가 1초 이상 동안 일정한 값으로 나타나는 경우, 1초 미만의 샘플링 시간을 이용해서 평균값을 결정할 수 있다.

7. 측정 절차

가. 정차 상태

1) 변속기가 분리된 상태(중립)와 변속기가 연결된 상태(변속기 1단 이상 또는 D), 둘 다 측정하여 그 후 최악의 경우를 결정

2) 5의 라목의 모든 공간에서 측정

3) 차량 충전 상태는 최대치의 20 % 이상이어야 함

나. 주행 상태(정속)

1) 40 km/h \pm 20 %의 일정 속도로 유지

2) 5의 라목의 모든 공간(H와 I 제외)에서 측정

3) 차량 충전 상태는 최대치의 20 % 이상이어야 함

다. 주행 상태(가속)

1) 0 km/h에서 90 km/h 사이에서 측정을 진행해야 하며, 10 km/h 부터 75 km/h 사이에서는 가속도를 최소 2.5 m/s² 로 유지해야 함

※ 배터리 온도로 인한 전력 제한 또는 차량 성능(테스트 설비 제한 사항이 아닌)으로 인해 최대 속도에 도달할 수 없는 경우, 측정에 사용된 가속도 및 최대 속도를 측정 결과보고서에 적어야 함. 그렇지 않으면 차량이 지정된 가속도에 도달할 수 있는 시험장 환경에서 측정해야 함

2) 정속 주행 상태에서 결정된 최대 자기장 노출 위치에서 가속 주행하며 최대 자기장 노출값 측정

- 3) 차량 충전 상태의 최소 및 최대값은 가속 상태 측정을 수행할 수 있을 정도여야 하며, 이 값들은 측정 결과보고서에 적어야 함

라. 충전 상태

- 1) 충전 시스템(소켓, 케이블) 및 5의 라목의 모든 공간에서 측정
- 2) 충전 케이블의 경우, 충전 소켓으로부터 50 cm 이격된 곳까지 측정
- 3) 차량 충전 상태는 최대치의 20 % ~ 80 % 이어야 함. 단, 배전반 및 충전 스테이션과 같은 다른 자기장 소스를 측정하지 않도록 주의 필요

8. 측정 결과 보고서

측정 결과 보고서에는 다음 사항을 기재해야 한다.

가. 차량 종류(하이브리드차, 전기차, 수소연료차 등)

나. 측정일, 측정 환경 및 측정 주파수 범위

다. 측정 장비의 규격

다. 차량 상태, 측정 위치

마. 차량 상태별, 측정 위치별 측정 최대값

※ 측정값 표기는 소수점 둘째 자리까지 하되, 그 이하 자리는 반올림한다.

※ 「시간영역 측정방법의 전달함수 및 측정방법 구성도」는 전자파강도 측정기준 고시 별표2의 부록A를 참고한다.

부록 A : 측정 결과 보고서

[illegible]

〈 참고 〉 측정값 표기시 위치에 대한 정의

| 구 분 | 옆진폭(H) | | | |
|-----|--------|---|---|---|
| | ① | ② | ③ | ④ |
| | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
| | ⑨ | ⑩ | ⑪ | ⑫ |
| | ⑬ | ⑭ | ⑮ | ⑯ |

| 구 분 | 윤전석 | | | 연돌(G) | | | 조수석 | | |
|------------|-----|---|---|-------|---|---|-----|---|---|
| A (바닥) | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ |
| | ④ | ⑤ | ⑥ | ④ | ⑤ | ⑥ | ④ | ⑤ | ⑥ |
| | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑦ | ⑧ | ⑨ |
| B (좌석) | ① | ② | ③ | | | | ① | ② | ③ |
| | ④ | ⑤ | ⑥ | | | | ④ | ⑤ | ⑥ |
| | ⑦ | ⑧ | ⑨ | | | | ⑦ | ⑧ | ⑨ |
| C (등받이) | ① | ② | ③ | | | | ② | ③ | |
| | ④ | ⑤ | ⑥ | | | | ⑤ | ⑥ | |
| | ⑦ | ⑧ | ⑨ | | | | ⑦ | ⑧ | ⑨ |

| 구 분 | 1열 이후 좌석 | | | | | | | | |
|------------|----------|---|---|-------|---|---|--------|---|---|
| | 윤전석 뒤쪽 | | | 중앙 뒤쪽 | | | 조수석 뒤쪽 | | |
| D (바닥) | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ |
| | ④ | ⑤ | ⑥ | ④ | ⑤ | ⑥ | ④ | ⑤ | ⑥ |
| | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑦ | ⑧ | ⑨ |
| E (좌석) | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ |
| | ④ | ⑤ | ⑥ | ④ | ⑤ | ⑥ | ④ | ⑤ | ⑥ |
| | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑦ | ⑧ | ⑨ |
| F (등받이) | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ |
| | ④ | ⑤ | ⑥ | ④ | ⑤ | ⑥ | ④ | ⑤ | ⑥ |
| | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑦ | ⑧ | ⑨ |

| 구 분 | 트렁크(H) | | | |
|-----|--------|---|---|---|
| | ① | ② | ③ | ④ |
| | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
| | ⑨ | ⑩ | ⑪ | ⑫ |
| | ⑬ | ⑭ | ⑮ | ⑯ |

전자파 인체영향 환경 대응 및 역량강화 연구



국립전파연구원
National Radio Research Agency

(58323) 전남 나주시 빗가람로 767

발 행 일 : 2018. 3.

발 행 인 : 유 대 선

발 행 처 : 과학기술정보통신부 국립전파연구원

전 화 : 061) 338-4414

인 쇄 :

ISBN : 979-11-5820-095-4 < 비 매 품 >

주 의

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