

무선국에 대한 전자파 인체 영향 평가 -IEC TC106 MT3 중심으로

전상봉 한국전자통신연구원 전파환경감시연구실 책임연구원



1. 머리말

국제전기기술위원회(IEC, International Electrotechnical Commission)는 모든 전기, 전자 및 관련 기술에 대한 국제표준을 다루는 기구로 1906년에 설립됐다. IEC 위원회는 105개의 기술위원회(TC, Technical Committees)와 100개의 소위원회(SC, Subcommittees)로 구성된다. 그중 TC106은 전자파 인체 노출과 관련해 주파수 범위 0Hz ~ 300GHz의 기지국, 휴대전화, 무선전력전송기기를 비롯한 다양한 전자파 발생원으로부터 전자파 인체 노출평가 방법 표준을 다룬다. IEC TC106의 회원국은 25개국의 참여국과 13개국의 참관국으로 구성되며 위원회의 의장은 호주의 마이클 우드(Michael Wood), 간사는 독일의 마티아스 마이어(Matthias Meier)가 맡고 있다. 현재 TC106의 하부 조직의 구성은 4개의 프로젝트팀(PT, Project Teams), 5개의 유지보수팀(MT, Maintenance Teams), 2개의 작업그룹

(WG, Working Groups), 3개의 공동작업그룹(JWG, Joint Working Groups)과 3개의 공동유지보수팀(JMT, Joint Maintenance Teams)으로 조직된다. 그중 유지보수팀인 IEC TC106 MT3는 무선국에 대한 전자파 인체 영향 평가에 관한 내용을 다룬다. 프랑스의 크리스토프 그랑게아(Christophe Grangeat)와 호주의 데스몬드 워드(Desmond Ward)가 공동 의장을 맡고 있다. 현재 한국을 비롯해 19개국에서 65명의 위원이 활동 중이다. IEC TC106 MT3에서는 무선국에서의 전자파 노출 측정방법을 다루는 IEC 62232 Ed. 2.0 표준과 무선국 평가에 대한 표준의 이해를 도우려는 목적으로 발행된 IEC TR 62669 문서에 대한 유지보수를 담당한다. 주요 이슈는 새로운 5G 서비스에 대한 무선국의 전자파 노출평가를 반영하는 것이다. 이를 위해 먼저 사례 연구 형태의 내용을 포함하는 IEC TR 62669가 2019년에 발행됐다. 이를 기반으로 IEC 62232 표준의 개정을 진행 중이다. 표준 문서는 2020년 3월까지 개정 문서의 의견

을 수립했다. 내용의 범위가 넓고 각국의 의견이 방대해 현재 2021년 4월을 목표로 CDV 문서를 준비 중이다. 특히 COVID-19 상황에서 모든 회의를 비대면으로 진행했고 온라인 회의를 하기 위해 각 국가마다 시간적 차이가 발생했지만 참여위원들이 적극적으로 활동함으로써 힘든 상황에서도 잘 진행되고 있다.

본고에서는 IEC TC106 MT3의 활동 중심으로 IEC 62232 표준의 개정 내용 중에서 특히 5G 무선국에 대한 전자파 인체 영향 평가 위주로 소개하겠다.

2. 무선국 전자파 인체 영향 평가 표준 주요 개정 내용

IEC 62232 표준에서는 무선국에 대한 전자파 인체 영향을 평가하고자 기본 절차로 제품 적합성, 제품 설치 적합성, 실 환경 평가가 이뤄진다. 표준에서는 평가 방법으로 측정과 계산 방법이 모두 포함돼 있다. 현재의 표준은 2017년에 발간한 문서로 5G 서비스에 대한 주파수 범위 확장, 밀리미터파를 평가하는 새로운 측정 물리량 등을 포함한다. 그러나 5G 무선국을 평가하기 위한 내용은 다루지 않는다. 실제 5G 무선국은 한국에서 세계 최초로 2019년 4월에 상용화 서비스했다. 따라서 현재 논의 중인 개정본은 적용 가능한 5G 서비스의 무선국을 평가하는 방법을 다룬다. 이와 관련해 핵심적인 개정 내용은 5G 무선국의 실제 최대 노출 전력(Actual Maximum Transmitted Power)을 이용한 평가 방법과 5G NR(New Radio)의 동기신호블록(Synchronization Signal Block) 측정을 통한 방법이다.

2.1 실제 최대 노출 전력을 이용한 평가 방법

무선국에 대한 설치 적합성을 평가하기 위해서 최대 노출 전력으로 최악의 노출 조건을 가정해 평가를 수행한다. 하지만 현재 무선국들은 전력을 효율적으로 활용하기 위해서 전력 제어를 통해 운영된다. 따라서 대부분의 무선국이 전송하는 실제 전력은 일반적으로 설계된 전력에 비해 평균 전력이 낮다. 본 평가 방법은 적합성을 평가하기 위해 실제 최대 전송 전력 또는 등가 등방 복사 전력(EIRP, Equivalent Isotropic Radiation Power) 접근 방식을 사용함으로써 노출에 대한 과대평가를 방지할 수 있다. 그러나 실제 최대 노출 전력을 이용한 평가 방법은 제도를 운영하는 주체로서는 실제 최대 노출 조건을 증명할 방법이 명확하지 않으면 채택하기 어렵다. 이 점을 고려해 이번 개정에서는 운영사가 제시한 실제 최대 노출 전력을 넘지 않음을 증명하고 평가하는 방법이 반영됐다. 실제 최대 노출 전력을 이용한 평가를 받으려면 네트워크 운영사는 실제 최대 전력 임계값 또는 실제 최대 EIRP 임계값을 제시하고 이를 넘지 않음을 보장해야 한다. 또한 이에 대해서 무선국 설치 적합성 보고서에 명확하게 식별되고 문서로 만들어야 한다.

실제 최대 전송 전력 또는 EIPR 임계값을 기반으로 한 제품 설치 적합성 평가는 두 단계로 구현돼야 한다. 1단계는 무선국을 운영하기 전 또는 무선국의 구성된 매개 변수에 중대한 변경이 있을 때 적용된다. 2단계는 무선국이 작동 중일 때 적용된다. 실제 최대 접근 방식을 기반으로 한 제품 설치 적합성 준수를 위한 구현 프로세스는 [그림 1]에 나와 있다.

2.1.1 1단계: 무선국을 운영하기 전 또는 무선국의 구성된 매개 변수에 중대한 변경이 있는 경우

절차 1과 절차 2는 누적 분포 함수(CDF, Cumulative Distribution Function)를 사용하는 방법론을 기반을 둔다. CDF를 사용할 수 없거나 알 수 없는 경우 운영자는 절차 3(b) 단계로 이동해야 한다.

절차 1: 누적 분포 함수 평가

네트워크 운영자는 다음의 접근법에 따라 하나 혹은 조합으로부터 기지국 섹터 세그먼트를 평가해 실제 전송된 전력의 CDF 또는 무선국의 EIRP를 평가한다.

- 유사한 구성 및 환경을 가진 단일 무선국 섹터 또는 섹터 세그먼트에 대한 측정
- 유사한 구성 및 환경으로 네트워크 운영자가 배포한 무선국 사이트의 대표적인 샘플에 대한 측정
- 무선국 자체 또는 유사한 구성 및 환경을 가진 무선국 사이트의 계산 모델
- 작동 전 무선국 자체에 대한 측정

절차 2: 실제 최대 임계값을 식별하기 위해 적용 가능한 백분위 수 선택

네트워크 운영자는 아래를 기반으로 무선국에 구성할 실제 최대 임계값 식별하는 데 적용할 수 있는 CDF의 백분위 수(예를 들어 95%)를 선택한다.

- 적용할 규정에 지정된 백분위 수를 사용
- 그렇지 않으면 네트워크 운영자가 적절하다고 판단하는 백분위 수를 사용

절차 3: 실제 최대 전송 전력 또는 EIRP 임계값 결정

각 무선국 섹터 또는 섹터 세그먼트에 대한 네트워크 운영자는 다음 중 하나를 수행해야 한다.

- 절차 2에서 선택한 CDF의 백분위 수에서 실제 최대 전송 전력 또는 EIRP 임계값을 결정
- 무선국이 작동하기 전에 CDF가 알려지지 않았거나 이전의 유사한 CDF의 사용이 가능하지 않은 경우, 사이트에 주어진 적합성 경계를 얻기 위해 결정된 실제 전송 전력 또는 EIRP 임계값을 사용

실제 최대 전송 전력 또는 EIRP 임계값을 사용하는 경우 운영자는 무선국 적합성 경계 외부 영역이 적용 가능한 노출 한계 이하로 유지되는지 확인해야 한다.

무선국을 작동하기 전 또는 구성된 매개 변수에 중대한 변경이 발생해 전자파 노출 레벨이 증가하는 경우, 운영자는 절차 3에서 결정한 대로

실제 최대 전송 전력 또는 EIRP 임계값을 기반으로 적합성 경계를 재평가해야 한다. 운영자는 업데이트된 평가 매개 변수, 결과 및 CDF를 기록하고 보고해야 한다.

절차 4: 무선국 구성 전력 및 전력 감소 매개 변수 설정

운영자는 실제 전송된 전력 또는 EIRP 단계에서 지정된 실제 최대 전송 전력 또는 EIRP 임계값을 초과하지 않게 절차 3에서 지정한 무선국 구성 전력 및 전력 감소 매개 변수를 섹터당 혹은 섹터 세그먼트별로 설정해야 한다.

2.1.2 2단계: 무선국이 운영 중인 경우

무선국이 운영 중일 때 실제 최대 접근 방식을 구현하고자 적용 가능한 두 절차가 있다.

절차 5: 실제 전송된 전력 또는 EIRP 모니터링 및 제어

네트워크 운영자가 실제 최대 전송 전력 또는 EIRP 임계값을 초과하지 않도록 제어 기능을 구현할 때 필요한 요구 사항을 따라야 한다.

네트워크 운영자는 무선국 관리 시스템이 운영자에게 제공하는 무선국 섹터당 또는 섹터 세그먼트당 실제 전송된 전력 또는 EIRP 카운터를 모니터링하고 주기적으로 CDF를 기록한다. CDF 기록 보고서는 관련 규정(예를 들어 매 7일)에 따라 수행되어야 한다.

운영자가 검증된 무선국 전원 또는 EIRP 제어 기능을 구현하는 경우 이 절차에 명시된 CDF 및 EIRP 카운터 보고는 해당 규정에 따라 선택 사항일 수 있다.

절차 6: 무선국 구성 매개 변수 또는 실제 최대 전송 전력 또는 EIRP 임계값 변경

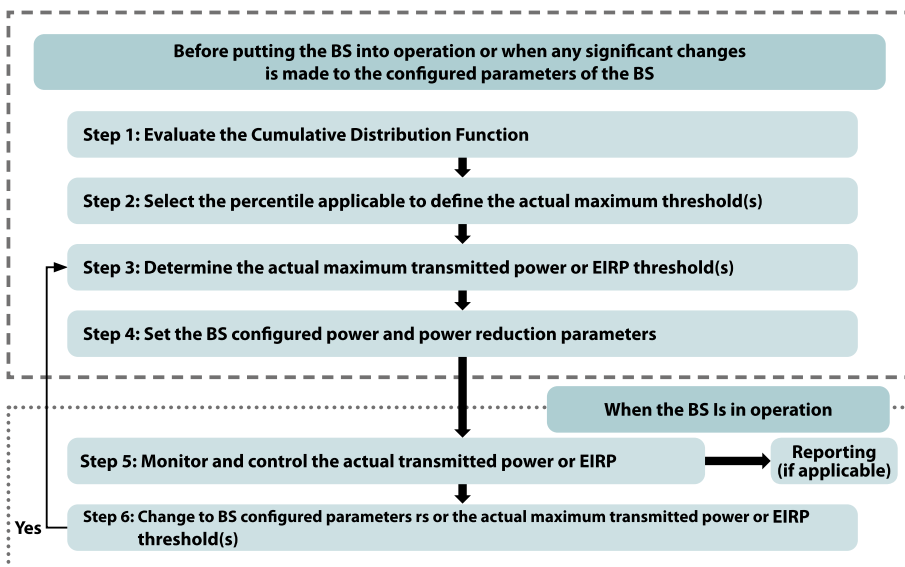
운영자가 적합성 경계 또는 실제 최대 전송 전력 또는 EIRP 임계값에 영향을 미치는 무선국 구성 매개 변수를 변경하는 경우, 전자파 적합성 경계는 절차 3을 사용하여 업데이트하여야 하며 해당 규제 및 관련 당국에 통보되어야 한다.

2.2 Massive MIMO 및 빔 포밍 무선국에 대한 외삽 방법

LTE-TDD 및 5G NR과 같은 신기술에서는 서

로 다른 신호를 서로 다른 빔으로 전송할 수 있다. 다른 빔의 전력, 이득, 스티어링 방향, 빔 모양 및 편파는 시간이 지남에 따라 달라질 수 있다. 신호는 브로드캐스트 신호와 트래픽 신호로 구분된다. 브로드캐스트 신호는 5G 물리적 방송 채널(PBCH, Physical Broadcast CHannel) 또는 4G LTE 기준 신호(RS, Reference Signal)로 구성된 단말기의 트래픽으로 인한 시간 변동 없이 동기화 신호를 전송하고자 무선국에서 사용하는 안정된 기준 신호를 말한다. 트래픽 신호는 기지국이 사용자의 트래픽 데이터 전송하고자 사용하는 하향 링크 신호이다. 빔 포밍의 경우 트래픽 및 공간적 변동으로 인한 시간 변동이 발생한다. 브로드캐스트 신호는 사용자 특성과 트래픽 부하와 상관없이 독립적으로 전송한다. 여기서 기준 신호는 5G NR에서 동기신호블록(SSB, Synchronization Signal Block)을 가리킨다. 브로드캐스트 및 트래픽 빔에 대한 EIRP 포락선은 방법을 구현하기 위해 알아야 한다. 일반적으로 EIRP 포락선은 방위각과 고도각의 합

수이며 셀 구성에 따라 달라진다. 브로드캐스트의 EIRP 포락선은 브로드캐스트 신호의 EIRP 포락선이다. 이 신호는 사용자의 단말기가 무선국을 찾을 수 있도록 무선국에서 보내는 신호로 모든 빔에 대한 최대 EIRP로 정의된다. 브로드캐스트의 EIRP 포락선의 경우, 전체 자원 그리드(RG, Resource Grid)의 모든 자원 요소(RE, Resource Element)가 실제로 브로드캐스트 신호 일부를 전송하는 RE와 동일한 전력을 전송한다고 가정한다. 트래픽의 EIRP 포락선은 모든 트래픽 빔의 EIRP 포락선이다. 이 신호는 모든 신호 유형을 전송하는 데 사용될 수 있는 모든 빔에 대한 신호로 최대 EIRP로 정의된다. 주어진 방위각 및 고도각에서 트래픽 EIRP 포락선과 브로드캐스트 EIRP 포락선의 비율은 해당 방위각 및 고도각에서 외삽 인자(FextBeam)이다. 브로드캐스트와 트래픽 포락선을 사용할 수 없는 경우 외삽 인자는 현장 측정으로 추정할 수 있다. 평가에 대한 외삽된 전기장 강도는 다음 식을 사용해 얻거나 자기장 및 전력 밀도에



[그림 1] 실제 최대 전송 전력 및 EIRP 임계값을 기반으로 한 제품 설치 적합성 준수에 대한 순서도

대한 등가식을 도출할 수 있다.

$$E_{\text{asmt}} = E_{\text{broadcast}} \times \sqrt{F_{\text{extBeam}} \times F_{\text{BW}} \times F_{\text{PR}} \times F_{\text{TDC}}}$$

여기서, E_{asmt} 는 외삽된 전기장 강도(V/m), $E_{\text{broadcast}}$ 는 가장 강한 동기신호블록의 자원요 소당 평가된 전기장 강도(V/m), F_{extBeam} 는 측정 위치 방향에서 트래픽 EIRP 포락선 대 브로드캐스트 EIRP 포락선의 비율에 해당하는 외삽 인자, F_{BW} 는 브로드캐스트 신호의 전체 반송파 대역폭과 부반송파 주파수 간격의 비율, F_{PR} 는 실제 최대 노출 방식을 사용하거나 그렇지 않으면 1로 설정되는 전력 감소 인자, F_{TDC} 는 모든 신호의 최대 듀티 사이클이다.

E_{asmt} 는 트래픽 빔에 할당되고, 브로드캐스트 신호의 기여를 포함해 (실제 또는 이론적) 최대 전송 전력을 가정해 결정된다. 브로드캐스트 신호에 대한 안테나 EIRP는 일반적으로 트래픽 빔에 대한 안테나 EIRP보다 훨씬 낮으므로 E_{asmt} 는 보수적으로 추정한다. 어떠한 경우에도 브로드캐스트 신호는 무선국 최대 전송 전력의 소량에만 기여하므로 이 가정은 E_{asmt} 에 큰 영향을 미치지 않을 것이다.

5G NR 무선국에 대한 최대 노출을 평가하는 외삽 방법은 기준 신호 측정을 통해 E_{asmt} 를 도출해 구할 수 있다. 표준에서는 기준 신호를 측정하는 2가지 방법이 제시돼 있다. 첫 번째 방법은 디코더(Decoder)를 이용해 동기신호블록의

전기장 세기를 측정하는 방법이며, 두 번째 방법은 신호분석기(Spectrum analyzer)를 이용해 측정하는 방법이다. 신호분석기를 이용한 방법은 이탈리아에서 제안한 SSB mapping 방법과 한국에서 제안한 SSB gating 방법이 있다.

3. 맺음말

본고에서는 5G 서비스에 따라 무선국이 출시됨에 따라 기존 표준에서 다루지 못한 내용을 개정하고자 현재 IEC TC106 MT3에서 추진 중인 무선국에 대한 전자파 인체 영향 평가에 관해 표준 내용을 위주로 국제표준 동향을 기술했다. 5G 서비스는 한국에서 세계 최초로 상용화 서비스가 이루어진 만큼 한국에서 처음으로 기준 신호 측정을 하고 이를 이용한 외삽 평가 방법을 위원회에서 소개했다. 이를 기반으로 한 외삽 평가 방법은 훌륭한 성과이다. 현재 4월 말을 목표로 진행 중인 CDV 문서를 마무리하기 위해 최근에는 매주 비대면 회의를 진행할 정도로 박차를 가하고 있고 한국도 적극적으로 참여해 국제적 위상을 높이고 있다. COVID-19 상황에서도 방대한 범위의 표준을 비대면 회의를 통해 진행하는 표준 위원들에게 감사를 전하며 얼마 남지 않는 기간 잘 마무리되어 훌륭한 표준이 발간되기를 기대한다. TTA

※ 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음[2019-0-00102, 복합 전자 환경에서의 국민 건강 보호기반 구축]

참고문헌

- [1] https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:29:12503794369837:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1303,25#1
- [2] IEC TR 62669:2019, Case studies supporting IEC 62232 - Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human exposure.