

# 5G 전자파와 인체영향

최형도\* · 김남\*\*

\*한국전자통신연구원 ·  
\*\*충북대학교

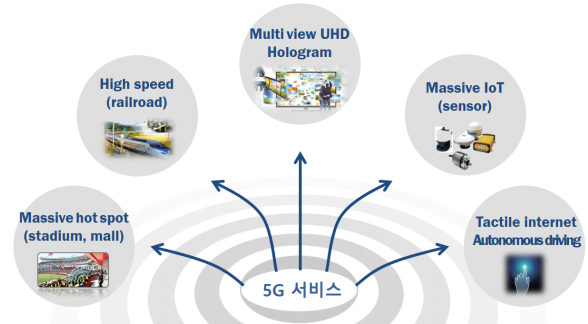
## I. 서론

5G는 2015년 10월 ITU-R 전파통신총회에서 승인된 IMT-2020 요구사항을 만족하는 이동통신 표준규격으로 초고속, 초연결, 초저지연 서비스 실현을 목표로 하는 5세대 이동통신을 말하며, 일반인에게는 5G가 훨씬 더 익숙한 용어이다. 우리나라에서 5G의 신호탄을 쏘아 올린 것은 금년 초에 상대적으로 개최된 평창올림픽으로 새로운 혁신 기술을 선보이는 새로운 기회의 장이 되었다.

우리나라에서는 5G를 세계 최초의 상용화를 목표로 야심차게 추진하고 있으며, 이를 위해 과학기술정보통신부에서는 선제적으로 5G 주파수를 공급하여 5G 초연결, 초고속, 초저지연 사회의 무선 핵심인프라 기반 구축을 통하여 스마트 도시, 스마트 공장, 자율주행, 재난안전 등 중점 사업을 추진하여 생활과 산업현장에 적용함으로써 풍요로운 삶을 만들고, 성장 동력을 일으켜 경제적 가치를 높이는데 주력하고 있다.

알다시피 5G 서비스는 제한된 밀집 지역에서 많은 사람이 대용량의 멀티미디어 콘텐츠(증강현실, 3D 서비스 등) 이용과 언제 어디서나 접속을 가능하게 하며, 고속열차, 비행기 등에서 이동서비스를 제공하게 한다. 또한, 5G는 가정, 사업장 등 모든 생활환경에서 사람과 사람, 사람과 사물, 그리고 모든 사물을 연결하는 초연결 네트워크 환경을 만들어 자율주행, 원격진료, 촉각인터넷 등 실시간 통신 서비스를 가능하게 하며, 응급상황 및 재난 상황에서도 인명을 구하는데 유용하게 활용될 것이다<sup>1)</sup>. 한편, 스마트 공장, 스마트 농장에 이르기까지 다양한 서비스가 이루어질 것으로 전문가들과 관련 업계에서는 기대하고 있다.

이러한 5G 네트워크 환경에서 무선의 초연결 파이프이



[그림 1] 5G 서비스 전망

며, 5G 산업의 핵심 동인(動因)은 다름이 아닌 일상에서 우리가 몹시 우려하는 전자파이다.

전자파는 과거 마징가 제트 만화에 나오는 아수라 백작과 같이 많은 장점과 단점들을 동시에 지닌 두 얼굴의 동인(同人)이다. 즉, 전자파는 5G 등 무선 산업 육성에 없어서는 안 될 필수 자원이지만, 동시에 인체에 대한 유해성은 늘 따라다니는 전 세계의 공통 이슈이다. 이에 WHO에서는 1996년부터 0~300 GHz 전자파 노출에 대한 건강과 환경 영향을 평가하는 목적으로 EMF project 설립하여 운영하고 있으며, 이 프로젝트에는 8개 국제기구와 우리나라를 비롯하여 60여 개 국가가 참여하고 있다. 주요 임무는 ① 전자파 인체 노출의 생물학적 영향에 대한 문헌 검토, ② 인체 위험성 평가를 위해 요구되는 연구 분야 발굴 및 연구 주제 권장, ③ 연구 종료 후 전자파 노출의 건강위험성 평가, ④ 국제적으로 받아들일 수 있는 동일한 표준을 장려하는 것, ⑤ 위험성 인식, 홍보, 관리(Risk perception, Risk communication, Risk management)에 대한 정보를 제공, ⑥ 전자파 정책에 대한 국가 프로그램 및 비정부 연구소에 대한 자문하는 것이다. 현재 WHO에서는 국제비전리복사방호위원회(ICNIRP)에서 만

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(2017-0-00961, 스마트 사회 전자파 노출량 제어 기반 구축).

들어진 기준<sup>[2]</sup>을 권고하고 있으며, 우리나라에서도 2000년에 전파법 제47조2에 의거하여 기지국에서부터 나오는 전자파에 대한 강도 기준을 WHO 권고 기준을 준용하여 고시하고 있다. 특히 우리나라에서는 기지국이 설치될 때에 전자파 강도 측정이 의무화되어 있고, 전 세계에서 우리만이 국민이 쉽게 전자파 세기를 알 수 있도록 전자파등급제를 실시하는 등 비교적 엄격하게 잘 정착되어 있다고 할 수 있다.

그러나 최근 5G 서비스 관련하여 미국의 샌프란시스코의 Mill Valley시에서 5G 이동통신 기지국에서 방출되는 전자파의 우려에 따라 도시 내 주거지역에서의 5G 무선국 설치를 금지하는 조례를 발효하여 최종 확정될 예정에 있으며, 유럽에서는 전문가를 중심으로 5G 기술 확산에 반대하는 서명운동을 전개하는 등 인프라 구축에 부정적인 시각과 우려가 증가되고 있다.

따라서 전자파에 대한 올바른 정보와 이와 관련된 전자파 건강영향에 대해 현재까지 알려진 과학적 근거와 더불어 살펴보고, 또한 향후 5G에 대한 전자파 인체영향 연구에 대해 고찰하고자 한다.

## II. 5G 주파수 전자파의 인체영향

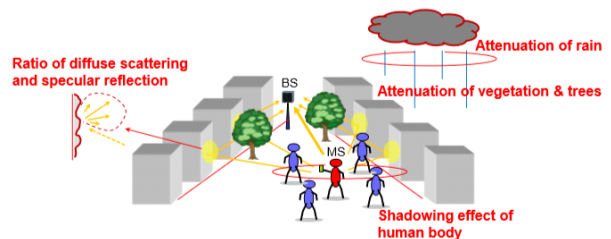
우리 대부분은 전자파라 하면 전력선, 휴대폰, 레이더 등에서 발생하는 전자파 모두를 하나로 인식하여 인체 영향은 동일하다고 생각하지만, 전자파의 인체영향은 주파수에 따라 다르다는 점을 알아야 한다. 전자파 인체영향은 10 MHz 이하에서는 자극작용, 10 MHz 이상에서는 열적 작용에 의한 것이며, 국제인체보호기준(ICNIRP)은 100 kHz~10 GHz 에서는 전자파에 대한 인체 노출의 기본한계를 전자파흡수율로 정의하는 한편, 10 GHz 이상에서는 전력밀도를 기본한계로 설정하여 인체보호기준을 마련하였다. 전자파흡수율 기준은 일반인에 대해 전신 평균 0.08 W/kg이며, 전력밀도는 10 W/m<sup>2</sup>이다. 이때 전력밀도는 노출 공간에서 임의의 20 cm<sup>2</sup> 면적에 대한 평균값이 기준 이하이어야 하며, 1 cm<sup>2</sup> 마다 평균한 공간의 최대 전력밀도 또한 기준의 20배를 초과해서는 안된다고 규정하고 있다. 여기서 10 GHz 이상에서 부가적으로 평균 공간면적을 1 cm<sup>2</sup>으로 한 것은 전자파의 분포가 불균일한 경우를 고려한 것이다. 모든 기지국에서 방출하는 전자파는 매 주파수마다 이와 같은 기준 값을

만족하여야 하며, 또한 서로 다른 기지국에 대한 영향을 합하여 총 노출량이 기준을 초과하여서는 안 된다. 전파법에서는 만일 초과한다면 안전시설을 설치하여 사람이 접근할 수 없도록 하거나, 출력을 줄여 인체보호기준을 만족하도록 법에서 정하고 있다<sup>[3]</sup>.

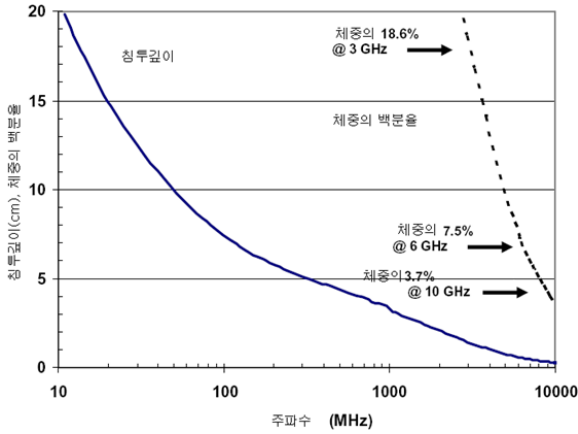
우리나라 5G 주파수 전자파는 3.5 GHz 대역과 28 GHz 대역이다. 12월 1일 첫 전파발사를 앞두고 있는 주파수는 3.5 GHz 대역으로 인체영향의 입장에서 고려한다면 기존의 4G와 유사할 것이라 생각한다. 그러나 28 GHz 대역의 전자파는 3.5 GHz의 전파특성과 매우 상이하고, 인체영향도 다르게 고려되어야 한다. 첫째, 주파수가 높을수록 직진성은 강하나 인체 등의 장애물에 의한 손실이 매우 크다. 이러한 성질 때문에 3.5 GHz 대역은 기존의 기지국을 활용하여 인프라를 구축할 수 있으나, 28 GHz 기지국은 훨씬 더 촘촘히 설치해야 하고, 실내의 경우에도 초소형 기지국이 들어가야 한다.

따라서 기지국을 많이 설치하면 사람과 근접하여 더 많은 전자파에 노출된다고 생각하여 일반적으로 더 위험하다고 인식하게 된다. 그러나 가장 중요한 점은 전자파 세기이며, 기지국이 많이 세워질수록 낮은 출력으로 운용되기 때문에 전자파 세기는 줄고, 따라서 전자파 인체노출량은 감소하게 된다.

둘째, 10 GHz 이상에서 생물학적 영향을 보면 조직 내부로 침투하는 에너지가 매우 작으며, 침투 깊이가 대략 0.27 cm로 대부분 피부에서 흡수되므로 기존의 2G, 3G, 4G 전자파 노출 때문에 우려하고 있는 뇌암 등과 같은 인체 깊은 조직에서 발생하는 질환과는 다를 것이다. 따라서 5G에 대한 생물학적 영향 연구는 주요 장기보다는 피부에 대한 영향이나 안구에 대한 영향 연구가 주로 이루어지고 있으며, 우리나라도 2019년부터 이러한 연구에 집중할 예정이다.



[그림 2] 28 GHz 대역 전파특성<sup>[4]</sup>



[그림 3] 전자파 조직 내 침투 깊이<sup>[5]</sup>

다른 한편으로 5G 기지국의 경우, 기존 2G, 3G, 4G와는 달리 스마트한 안테나를 사용하여 접속된 사용자 수에 따라 전파 세기를 조정하고, 기지국과 휴대전화가 동시에 출력을 제어하여 최소의 출력으로 운용되기 때문에 기존 통신방식에 비해 시간적 공간적으로 기지국으로부터 나오는 전자파 세기는 평균적으로 낮아질 것이다.

특히 28 GHz 대역에서의 서비스가 원활하게 이루어지기 위해서는 인체손실을 피해야 하기 때문에 LOS(Line of Sight) 환경이 구축되어야 할 것이므로 직접적인 인체노출은 줄어들 것이다. 따라서 5G 설치 시나리오에 따라 운용 방식에 따른 노출량 평가를 해야 할 것이다. 5G 설치 시나

<표 1> 기존 기지국과 5G 기지국 비교

기존	5G
<p>2G / 3G / 4G 기지국</p>	<p>5G 기지국</p>
총 사용자의 접속을 고려하여 일정한 영역에 고정된 출력의 전자파 방출	접속된 사용자에 한하여 집중되나, 최소한의 전자파 방출
사용자의 유무와 관계없이 시간적 공간적으로 일정하게 방출	사용자 수에 따라 시간적 공간적으로 방출 세기가 가변적이므로 평균된 전자파 세기는 LTE에 비해 낮음

리오는 도심 도로협곡(Street canyon), 광장(직선거리 50 m 이상 확보되는 광장 등), 건물 옥상, 사무실, 쇼핑 몰 등으로 [그림 4]와 같다.

IEC TC 106에서는 5G 관련 전자파 노출량 적합성 평가를 위한 측정 및 해석 표준 작업 중으로 2020년에 완성할 예정이며, 이와 관련된 노출량 예측 및 케이스 스터디 결과를 IEC 기술보고서(TR 62669)에 발표하였다. 대량 다중입출력(Massive MIMO)을 이용한 27 GHz 주파수 대역에서의 TDD



[그림 4] 5G 설치 시나리오



Measurement locations	TDD downlink duty cycle	Measurement results (W/m <sup>2</sup> )	Exposure ratio (percentage of ICNIRP limits [7])
5G laboratory, location 1	50%	1.2E-03	0.01 %
5G laboratory, location 2	50%	2.7E-04	0.003%
5G laboratory, location 3	50%	5.5E-04	0.006%
5G laboratory, location 4	50%	2.2E-04	0.002%
Outdoor location 1	96%	2.0E-04	0.002 %
Outdoor location 2	96%	9.6E-05	0.001 %

[그림 5] 27 GHz 실내의 전자파강도 측정 결과<sup>[6]</sup>

(Time Division Duplex) 스몰셀에 대한 실내 및 실외 측정 결과, 인체보호기준보다 상당히 낮은 값을 보여 주고 있다.

기지국에서 방출되는 전자파 측정방법은 제품 출시에서 측정하는 제품 적합성 시험(product standard)과 기지국 설치 시 적합성을 측정하는 설치 적합성 시험(put into service) 그리고 민원이 발생할 때 측정하는 환경 적합성(in-situ) 시험으로 구분되어, 필요에 따라 적절한 평가가 이루어져야 한다. 5G 기지국에 대해서는 기존의 기지국 평가와는 달리 TDD 빔포밍에 대한 새로운 방법의 제시가 필요하며, 최악의 경우를 표현함에 있어서 너무 현실과 동떨어진 결과로 과대평가 되는 것은 바람직하지 않을 것이다. 또한, 우리나라와 같이 기지국 설치 시 전자파 강도 측정이 의무화되어 있는 경우, 촘촘히 세워지는 5G 기지국에 대해 모두 측정을 해야 하는 비효율적인 면도 다시 고려되어야 하며, 이로 인한 인프라 구축에 부담과 장애가 되는 요소가 될 수 있어 5G 서비스 추진에 있어 보다 세심한 제도 개선이 필요하다. 많은 전문가들은 해외 사례와 같이 계산적인 방법과 표본 측정을 적절한 수준으로 함께 실시하고, 사후관리를 강화하여 보다 합리적인 노출 관리 방안을 권고하고 있으며, 이를 정부가 적극 검토해야 한다고 생각한다.

5G 전자파에 대한 우려는 본격적인 기지국이 설치되는 내년부터 점차 증가될 것이며, 이와 관련한 민원과 주민과의 갈등 또한 증폭될 것으로 예상된다. 따라서 이와 관련하여 기지국 설치 정보를 주민에게 공개함으로써 이해당사자간에 충분한 협의 과정을 거치고, 기지국 측정결과를 공개하며, 또한 설치 전후의 노출량 평가 결과 비교를 통해 기지국의 전자파 노출 값을 주민 스스로 인지하고, 판단할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

한편, 우리 일상생활에서 접하는 전자파가 우리가 가장 걱정하는 암 발생 가능성을 포함해 인체유해성에 대한 과학적 증거가 아직 없다는 것이 현재까지 WHO의 입장이다. 그러나 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 경계를 늦추어서는 아니되며, 관련 연구와 예방대책 마련에 소홀해서는 안 될 것이다.

### Ⅲ. 맺은 말

다양한 무선기기로 연결되는 4차 산업 시대를 살아가는데 전자파의 우려는 점차 증가될 수밖에 없고, 의심을 넘어서는 과도한 걱정과 오해는 우리의 미래 성장산업의 발목을 잡을 수도 있다. 그렇지만 정부는 건강 염려에 대한 국민감정 또한 간과해서는 안 될 것이다. 따라서 5G 측정결과 공개 등 적극적인 위험성 관리 소통(Risk Communication)을 통해 전자파에 대한 올바른 정보를 제공하여 과도한 우려가 확산되지 않도록 노력해야 할 것이다. 특히 4차 산업혁명의 문을 5G를 통해 열고자 하는 우리 정부는 사회 안정과 번영을 위한 위험요소를 최소화하는 동시에 기술적 혁신이 확산될 수 있도록 전자파 관리 정책도 조금 더 민첩하게 움직여야 할 것이다.

또한, 전자파에 대한 인체영향을 과학적으로 규명하는 것은 우리들의 시대적 과업이고, 전문가들의 숙제임에 틀림이 없다. 국민들이 불안감으로부터 자유로워지고 이러한 전자파 이슈가 Risk culture<sup>1)</sup>로 거듭날 수 있도록 정부, 학계, 연구계의 관련 전문가들은 올바른 정보 제공의 최선방에 있어야 하며, 최선의 노력을 경주해야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] ETRI Insight, 표준화 동향 2016-2호, 5G 네트워크 표준기술.
- [2] ICNIRP(International Commission on Non Ionizing Radiation Protection), 1998, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", *Health Phys.*, vol. 74, pp. 494.
- [3] 전파법 제47조2(전자파인체보호기준 등).
- [4] White paper on 5G channel model for band up to 100 GHz
- [5] IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz, IEEE Standard C95.1-2005.
- [6] IEC TR 62669 ED2 106/463/CD "Case studies supporting IEC 62232" 2018-09-07.

1) 공유하는 위험에 대한 가치, 신념, 지식, 태도, 그리고 이해

≡ 필자소개 ≡

최 형 도



1986년 2월: 고려대학교 재료공학과 (공학사)  
 1989년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학석사)  
 1996년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학박사)  
 2004년 6월~205년 12월: 한국전파진흥협회 부설 EMC 기술지원센터장  
 2000년~2007년: 한국전자통신연구원 전자파환경연구팀장

2008년~2009년: SDSU 전기·컴퓨터공학과 방문교수  
 2010년~2013년: 한국전자통신연구원 바이오전자파연구팀장  
 2013년~2014년: 한국전자통신연구원 전자파환경연구실장  
 2014년~2016년: 한국전자통신연구원 전파기술연구부부장  
 1997년 1월~현재: 한국전자통신연구원 방송통신미디어 책임연구원  
 [주 관심분야] 전자파 인체 노출 평가, 전자파 저감 소재 및 부품, 전자파 기술 등

김 남



1981년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1983년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1988년: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수  
 2011년~현재: 한국무선전력전송포럼 운영위원회 위원장

2013년~현재: 과학기술정보통신부 통신정책자문위원회 위원  
 2015년 6월~2017년 6월: BEMS 회장  
 2016년 1월~현재: 국립전파연구원 EMC 기준전문위원회 위원장  
 2016년 3월~2016년 12월: TDD 주파수 공급 정책방안연구회 위원장  
 2017년 1월~현재: 5G 주파수 할당방안 및 할당대가 제도개선 연구반 반장  
 [주 관심분야] 이동통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로해석, EMC 및 전자파 인체보호 표준