

이동 전화기지국 전자파역학연구

하 미 나

단국대학교 의과대학
예방의학교실

이동 전화의 사용이 광범위하게 증가하면서 더 좋은 서비스의 제공을 위해 기지국의 설치도 급증하게 되었다. 이동 전화 기지국은 그 수가 많을수록 이동 전화의 통화질이 상승하므로, 인구가 많은 거주지역이나 집 가까이에 설치되는 것이 드물지 않게 되었다. 이에 따라 주민들이 이동 전화 기지국으로부터의 전자파 노출에 대한 염려도 많아지게 되었다. 이러한 상황은, 과연 이동 전화 기지국으로부터의 전자파 노출이 인체에 유해한 영향을 미칠 것인가를 규명하기 위한 역학 연구에 대한 필요성을 부각시키게 되는데, 과학자들 사이에서, 이동 전화 기지국에 대한 역학 연구는 현실성이 없을 것이라는 의견이 지배적이었다. 그것은 기지국에 관한 역학 연구가 많은 방법론적인 어려움을 안고 있기 때문인데, 무엇보다도 이동 전화 기지국으로부터의 전자파 노출량을 타당하고도 신뢰성 있게 평가할 수 있는 방법이 없기 때문이었다.

I. 이동 전화 기지국으로부터의 전자파 노출의 특징

이동 전화 기지국에 관한 역학 연구의 현실성에 대해 부정적인 견해를 제기하는 측에서 가장 중요하게 거론하는 것은 무엇보다도 노출 평가의 문제이다. 즉, 이동 전화 기지국으로부터의 전자파 노출량은 지극히 미미하며 다른 RF 발생원에 비하여 너무나 적은 비중을 차지할 뿐 아니라, 현실적으로 ICNIRP 등에서 설정한 기준치에 훨씬 못 미치는 노출량으로서는 일반 인구 집단에서 건강 영향을 일으

킬 가능성이 없을 것이라는 점이다. 유럽의 COST281에서는 따라서 이동 전화 기지국에 대한 역학 연구를 수행하는 것은 시기상조이며 적절치 않다고 지적한 바 있다(WHO Workshop, 2005).

이동 전화 기지국의 전자파 노출이 다른 모든 RF 발생원과 비교하여 볼 때 과연 무시할 만큼 적은지는 문제는 이동 전화 기지국 관련 역학 연구의 현실성을 결정하는 관건이 된다. 실제로 유럽 4개국의 과학자들이 공동으로 진행하였던 이동 전화 역학 연구의 현실성을 판단하기 위한 연구에서는, 약 1 V/m의 전력장에서(spatial peak SAR, 1 W/kg) 두뇌에 노출되는 전자파의 경우, 이동 전화를 사용하면서 노출되는 최초 4초 동안의 전자파량과 기지국에서 노출되는 24시간 동안의 노출량이 비슷하며, 전신 노출의 경우에는(평균 흡수량 0.03 W/kg) 이동 전화 사용 시 30분 동안 노출되는 양과 기지국에서 하루 동안 노출되는 양이 비슷한 것으로 조사된 바 있다^[3]. 따라서 전신에 평균 SAR 10 μ W/kg, 즉 적어도 0.5 V/m 보다는 큰 전력장이 형성될 수 있는 충분한 노출시간이 고려될 때만이 이동 전화 기지국 노출에 관한 역학적 고려가 가능하다는 것이다. 이는 이동 전화 기지국의 경우에는 적어도 24시간 이상 동안의 전신 노출을 고려해야 함을 의미한다. 이것은 또한 이동 전화 기지국보다 노출량이 훨씬 많은 다른 RF 노출 발생원을 반드시 함께 고려해야 한다는 것을 말한다. 다른 한편 뇌종양과 이동 전화 사용간의 관련성을 연구할 경우, 기지국으로부터의 노출량은 이동 전화에서 두뇌에 노출되는 전자파량에 비하여 무시할 만큼 적으므로, 고려하지 않아도 되는 수준이 된

다는 것이다.

<표 1>은 전형적인 현대 사회의 RF 노출과 관련된 발생원이다^[4].

또한 각 발생원에서 방출하는 전파 에너지는 대략 다음과 같이 추정되었다(<표 2>)^[4].

II. 이동 전화 기지국으로부터의 전자파 노출 평가

2-1 노출 평가의 방법과 지표

역학 연구에서의 노출 평가의 목적은 '노출'을 잘 대변할 수 있는 평가 지표를 찾아내는 것이다. 따라

<표 2> Approximate radiated-power emission strength for sources of electromagnetic waves.

Source	Energy (W)
Cellular telephone handset	~ 0.6
Single light bulb (visible and infrared waves)	100
Single ham radio antenna	1,000
Array of cellular phone base station antennas	1,200
Typical AM radio station transmitter	50,000
Typical FM radio station transmitter	100,000
Typical UHF TV transmitter	1,000,000

서 무엇보다도 우선적인 것은 전체 노출량을 정량적으로 평가하는 것보다는 이 노출 평가 지표가 노출

<표 1> Typical RF sources contributing to modern-day radio-wave background.

RF Source	Frequency (MHz)	Exposure potential
AM commercial radio	0.5-1.7	U+
Ionosphere research programs (e.g., HAARP)	2.8-10	L
FM commercial radio	88-108	U+
VHF commercial television (analog) ^a	54-88, 174-216	U+
UHF commercial television (analog and digital)	512-700	U+
Maritime mobile, radiolocation, radio-navigation (e.g., LORAN)	0.003-0.30	L
Radar (aviation, marine, police)	10,000-33,000	L
Millimeter-wavelength radar (meteorological, military)	~ 100,000	L
Satellite transmissions (global positioning, military)	220-400	U
Satellite transmissions (television)	4,000-6,000	U
Amateur (ham) radio operators, international short-wave broadcasts	~ 50	U
Cellular telephones, analog	806-890	U
Cellular telephones, GSM (Asia, Europe)	890-960	U
Cellular telephones, digital	1,850-1,990	U
Dispatch radio: (pagers, aviation, marine, fire, emergency, police)	900-950	U
Fixed microwave links (computers, television, telephone, military)	~ > 30,000	L
Cordless telephones, baby monitors, wireless toys, wireless telemetry	27-60, 900, 2,400, 5,800	L
Computer monitors, wireless computer connectivity, RF identification tags (e.g., Bluetooth, WiFi)	~ 1,900, ~ 2,500, ~ 5,700	L
Remote controls, light dimmer controls, door-openers, surveillance devices	Broadband	L
Microwave ovens, diathermy machines	2,450	L+
Industrial scientific and medical (ISM) band data links	~ 2,400, ~ 5,400	L
RF noise (lightning, solar flares, fluorescent fixtures, neon lights, spark ignition, power-line corona discharge)	Broadband	U

Abbreviations: +, those sources, among the ones listed, that typically contribute to the major fraction of total ambient RF exposure; GSM, global system for mobile communications; HAARP, high-frequency active auroral research program; LORAN, long-range radio navigation; L, localized RF sources; U, ubiquitous RF sources.

^aThe VHF band is split into two parts, with FM radio in the middle.

된 사람과 노출되지 않은 사람을 잘 구별해 줄 수 있는 지표이어야 하며(정성 평가), 혹은 한 집단 내에서 노출의 변이를 잘 나타낼 수 있어야 한다.

기지국과 거주지까지의 물리적인 거리는 지금까지 가장 많이 사용되어온 노출 지표라 할 수 있다⁷⁾. 전력 밀도(power density)는 거리가 증가할수록 감소하지만, 안테나의 출력, 송신 방향, 벽이나 장애물에 의한 차단, 건물이나 나무 등에 의한 분산 등이 관여한다. 실제 여러 주파수에서 서로 다른 장소에서 전력 밀도를 측정해 본 결과, 서로 다른 기지국에서 같은 거리에서도 많으면 4배까지 그 전력 밀도에 차이가 나는 것으로 나타났다(Neubauer, 2004). 따라서 거리 하나만으로는 기지국으로부터의 전자파 노출을 평가하는 적절한 지표가 되지 못한다고 하겠다.

과거 여러 연구에서 사용한 또 다른 노출 평가 방법은 한 지점에서 전자파 노출량을 실제로 측정하는 것이었다(spot measurements). 실측은 일정 주파수를 선택하거나¹⁾ 광대역에서 이루어지기도 하였다. 그러나, 이러한 한 지점, 한 시점에서의 실측값이 장기간에 걸친 개인 노출량을 얼마나 대변할 수 있는지에 대해 알려진 바가 거의 없다. 이론적으로 말하자면, 일정 기간 동안 지속적으로 개인의 노출량을 측정하는 것이 실지의 개인 노출을 가장 잘 반영할 것이다.

전자파 노출량의 측정 단위는 여러 가지 방법으로 사용될 수 있다. 일정 역치 이상의 노출에 초점을 맞추는 경우, 누적 노출량을 이용하는 경우, 그리고 노출의 분산(variability)을 이용하는 경우가 있을 수 있는데, 이것은 노출량-반응의 관계가 어떤 유형을 띄느냐에 따라 다양한 조합으로 사용될 수 있음을 고려해야 할 것이다.

2-2 다중 주파수 노출에서의 분석 문제

이동 전화 기지국으로부터의 전자파 노출량이 다른 발생원(발생원)에 비하여 상대적으로 매우 낮으므로, 다

른 발생원으로부터의 전자파 노출도 반드시 함께 고려해야 한다고 할 때, 이러한 여러 주파수의 전자파 노출을 어떻게 다루어야 하는지는 또 하나의 분석상의 난제라 할 수 있다. 여기에는 주파수의 차이는 고려하지 않고 총합적으로 생각하는 경우와, 주파수의 차이가 서로 다른 건강 영향을 초래할 수도 있다고 가정하여, 서로 다른 주파수를 따로 구분하여 생각하는 경우가 있을 수 있다.

전자의 경우(주파수의 물리적 특성이 서로 다른 건강 영향 효과를 초래하지 않는다는 가정), 또 다시 두 가지의 경우로 나누어 생각할 수 있는데, 즉 관심을 가지는 주파수 영역의 전자파 노출량이 다른 발생원에 비하여 현저히 많을 경우인데, 이때는 다른 발생원으로부터의 노출량을 무시하여도, 그 결과에 큰 비뚤림을 초래하지 않는다. 그러나 그 반대의 경우라면, 즉 관심 주파수 영역의 전자파 노출량이 다른 발생원으로부터의 노출량에 비하여 적은 경우, 노출 오분류(두 주파수 영역의 전자파 노출량이 서로 독립적인 경우), 혹은 교란 비뚤림(두 주파수 영역의 전자파 노출량이 서로 관련되어 있고, 또 건강 영향과도 관련되어 있는 경우)이 초래될 가능성이 존재하게 되므로, 반드시 다른 발생원으로부터의 전자파 노출을 고려해야 한다.

후자의 경우(서로 다른 주파수는 서로 다른 건강 영향 효과를 초래한다는 가정)에는, 발생원-특이적인 분석(주파수별로 건강 영향을 따로 분석)하게 되는데, 이 경우, 다중 비교(multiple comparison)시에 나타나는 통계적인 문제가 대두되어(error가 커짐), 분석상의 난제가 뒤따르게 된다.

2-3 노출 평가 시 고려할 점

노출 평가 시에 고려해야 할 또 다른 중요한 점은, 노출 시간이다. 즉 평생 노출을 평가할 것인가 아니면 하루 동안의 노출을 평가할 것인가 하는 등의 문제이다. 대부분의 환경 유해 인자에 대한 노출은 어

린 시기의 노출이 성인된 이후의 노출에 비하여 그 감수성이 더 큰 것으로 알려져 있다. 또, 하루 중에서도 언제 측정하느냐도 생체 리듬과 관련하여 그 감수성에 차이가 있을 수 있다. 일부에서는 낮보다는 밤에 감수성이 더 증가하므로, 이 때 측정하는 것이 더 적절하다고 제기하기도 하는데, 이동 전화 기지국의 경우, 이동 전화 사용 빈도가 밤에는 현저히 감소한다고 볼 때(따라서 기지국으로부터의 노출이 더 큰 비중을 차지하게 됨), 타당성 있는 견해로 받아들여지고 있다.

또한, 노출 평가 시점은 어떤 건강 영향을 보느냐에 의해서도 달라질 수 있다. 급성 증상의 경우에는 하루 전이나 수 시간 전과 같은 급성 노출을, 암이나 퇴행성 질환의 경우에는 평생 노출 혹은 장기간의 누적 노출을 염두에 두어야 할 것이다.

이동 전화 기지국 전자파 역학 연구를 위해서는, 인구 집단에서 노출의 profile이 어떻게 되는지에 대한 기본 정보가 축적되어야 한다. 또한, 가장 바람직하게는 개인 노출을 측정할 수 있는 personal exposure meter(개인 노출량 측정기)를 이용하는 것이다. 그러나 대규모의 역학 연구에서 이 부분은 제한점이 있으므로, daily activity diary를 병행하여 노출 matrix를 개발하여 활용하는 것이 한 방법이 될 수 있다고 하겠다.

III. 이동 전화 기지국 전자파 노출에 의한 건강 영향 평가

3-1 이동 전화 기지국 전자파 노출과 건강 영향에 관한 연구 동향

기지국 전자파 노출의 건강 영향에 관한 연구는 기지국의 건설의 역사가 짧은 만큼 많이 축적되어 있지 않다. 대부분의 연구는 주관적인 평가에 기초한 증상 혹은 wellbeing 혹은 신경 행동 검사나 인지

기능 검사에 초점을 맞추어 수행되었으며, 그 결과는 일관적이지 않다.

프랑스의 Santini 등은^[7] 기지국 근처에 사는 주민 530명에 대하여 18개의 비특이적인 건강 증상(radio-frequency sickness)을 묻는 설문 조사를 실시하였다. 이 중 몇 개의 증상, 즉 오심, 식욕감퇴, 시야 혼탁의 경우에는 기지국으로부터 10 m 안쪽으로 사는 사람들에서 불안증, 우울 증상, 식욕감퇴는 100 m 안쪽에서, 두통, 수면 장애, 불편감은 200 m 안쪽에 사는 사람들에서 300 m 바깥에 사는 사람들에 비하여 더 높은 빈도를 보였음을 보고한 바 있다. 또한, 남성보다는 여성이, 젊은 사람보다는 나이 든 사람에서 증상호소가 더 많았다.

오스트리아에서는 도시 지역과 시골 지역에서 10개의 이동 전화 기지국 주변의 주민 365명에 대하여 wellbeing과 수면의 질 등 주관적 증상 평가 조사 및 다양한 인지 기능 평가를 수행하였다^[1]. 이 중 336명의 집안 침실에서 고주파 전력장의 세기를 측정하였다. 측정된 고주파 전력장의 세기는 권고 기준보다 현저히 낮은 수준(최고 4.1 mW/m²)이었다. 기지국 안테나의 위치는 시골의 경우 24~600 m, 도시의 경우 20~250 m 떨어진 곳에 위치하고 있었다. 평균 전력장의 세기는 시골(0.05 mW/m²)이 도시지역(0.02 mW/m²)에 비하여 약간 높았다. 전력장의 세기와 두통은 유의한 상관관계를 보였으나, 전력장 노출량이 증가할수록 지각 속도가 증가하고 정확성이 감소하는 정도는 통계적인 유의성을 보이지 않았다. 수면의 질은 전력장 노출의 세기와 관련성이 없었다.

이집트의 Menoufiya 지역에 최초로 건설된 이동 전화 기지국 안테나 주변에 사는 주민 85명(37명은 안테나 아래쪽, 48명은 안테나와 마주 보는 쪽에 거주)과 이들과 연령, 성, 직업, 교육 수준을 짝지운 대조 집단 80명에 대하여 단면 조사를 실시하였다^[6]. 설문 조사, 일반적 및 신경학적 이학적 검진, 신경 행동 검사(Neurobehavioral test battery) 및 Eysenck 성격 검사

(EPQ)를 실시하였다. 기지국 주변 거주민에서 대조 집단에 비하여 두통(23.5 vs 10 %), 기억력 변화(28.2 vs 5 %), 어지러움(18.8 vs 5 %), 떨림(9.4 vs 0 %), 우울 증상(21.7 vs 8.8 %), 수면 장애(23.5 vs 10 %)가 유의하게 높은 빈도를 보였다. 신경 행동 검사에서는 노출 거주민에서 대조 집단에 비하여 집중 및 단기 기억 부분에서 유의하게 낮은 수행력을 보였고, 안테나 맞은편에 사는 거주민에 아래쪽에 사는 거주민에 비하여 문제 해결 검사에서 더 낮은 성적을 보였다. 모든 노출 거주민에서 두 가지 시각 운동 속도 검사 및 한 가지 집중력 검사에서 대조 집단에 비하여 더 좋은 성적을 보였다. 이동 전화 기지국에서 방출되는 전자파의 양은 정부에서 권고하는 기준에 비하여 현저히 낮은 수준이었다. 그러나 이러한 연구 결과에 입각하여 권고 기준에 대한 수정이 필요함을 제기하고 있다.

사람을 대상으로 이동 전화 기지국에서 방출되는 전자파와 같은 것을 직접 노출시켜, 증상 및 인지 기능 검사를 수행한 자원자 연구도 보고되었다. 그러나 여기서도 그 결과는 일관적이지 않다.

네덜란드에서 GSM과 UMTS 기지국 노출과 주관적 증상(wellbeing) 및 인지 기능에 관하여 일상적인 RF 노출에 대하여 건강상의 문제를 호소하는 그룹과 그렇지 않은 그룹에 대해 실험 연구를 수행하였다(Zwamborn et al., 2003). 이 연구에서는 GSM 노출에서는 그렇지 않았는데(0.7 V/m의 전력장의 세기), UMTS 노출에서는(1 V/m의 전력장의 세기) 주관적인 증상이 두 그룹 모두에서 나빠졌으며, 인지 기능에서는 유의한 변화가 없었다. 이것은 기지국 전자파와 주관적 wellbeing간의 관련성을 보고한 최초의 연구였다. GSM과 UMTS의 결과 차이는 서로 다른 modulation scheme에서 비롯된 것으로 해석하고자 하는 움직임을 만들었다.

스위스에서는 UMTS 기지국과 같은 노출을 부여한 사람 실험 연구(자원자 연구)를 117명의 건강한

사람들을 대상으로(33명은 자가 보고 민감자, 84명은 자가 보고 비민감자) 시행하여(randomized, double blind cross-over design) 주관적인 복지(wellbeing), 지각된 전력장의 세기, 인지 수행 능력을 설문 조사를 통해 평가하였다³⁾. 두 그룹 모두에서 주관적 복지와 지각된 전력장의 세기는 실제 노출량과 관련성을 보이지 않았다. 그러나 10 V/m의 노출량에서 민감 그룹에서 6개의 검사 중 한 가지에서 약간의 변화를 나타내었고, 비민감 그룹에서는 정확성에서 약간의 변화를 보였으나, 다중 결과를 보정한 후에는 이 효과가 사라져, UTMS 기지국 전자파 노출과 단기 건강 영향 사이의 관련성을 증명할 수 없었다.

3-2 만성 건강 영향에 관한 역학적 연구

암이나 퇴행성 질환과 같은 만성 질환을 주요 건강 영향으로 하여 기지국 전자파 노출과의 관련성을 살펴볼 경우에는, 장기적인 노출과 노출 후 질병 발생까지의 장기적인 잠복기가 필요하다. 따라서, 비교적 최근에 건설되기 시작한 이동 전화 기지국으로부터의 전자파 노출과 관련해서는 아직까지 충분한 노출 기간 및 잠복기가 주어진다고 하기 어렵다. 현재로서는 다른 RF 발생 노출원, 즉 기지국에 비하여 현저히 높은 노출 비중을 차지하는 다른 노출원과 관련하여 그 연관성을 살펴볼 수 있고, 이때 기지국 노출은 무시할 수 있다.

3-3 삶의 질, 복지(Well-being)에 관한 연구

일반적으로 사람들은 암이나 만성 질환보다는 기지국의 존재로 인하여 발생된다고 생각하는 불특정한 증상이나 삶의 질의 감소에 더 관심이 많은 경향이 있다. 그러나 이러한 삶의 질이나 복지의 경우에는 주관적인 판단에 기반하는 기준이 되므로 객관적인 연관성을 연구하기에 어려움이 있다. 즉, 이러한 주관적 판단에는 그 사회의 문화적인 특성이 개입될 수 있기 때문이다. 실제로 객관적으로 건강이 나쁜

사람들이 그렇지 않은 사람들보다 더 좋은 삶의 질을 보고한다는 증거가 많이 있다. 그러나 같은 사람 안에서 시간 혹은 어떤 사건을 두고 삶의 질이나 복지에 관한 판단의 차이를 보는 것은 매우 유용한 방법이 될 수 있다.

삶의 질이나 증상과 같은 자가 보고에 기반한 결과를 이용하는 경우, 보고자가 그들의 노출에 대하여 알고 있을 경우에는 문제가 더 심각해진다. 소위 Nocebo effect라는 것인데, 이것은 Placebo effect와 반대되는 개념으로 기대(expectation) 혹은 걱정을 하는 것으로 인하여 부작용 증상이 나타나는 현상을 말한다. 따라서 자가 보고에 기반한 연구를 수행하는 경우에는 반드시 이 문제를 고려하여야 한다.

기지국의 장기 노출과 주관적 증상과의 관련성을 연구하는 경우에도 문제점이 발생된다. 그것은 과거의 기지국 노출은 이미 현재의 노출과는 많이 다르다는 점이다. 또한, 주관적 증상이나 복지에 있어서 장기적인 변화를 측정한다는 것 자체가 매우 어렵다 (Michel, 2004).

RF 노출에 대하여 즉각적으로 혹은 수분 내에 일어나는 주관적인 증상에 대한 연구는 ‘자원자 연구 (human laboratory study)’를 통해 더 잘 수행될 수 있다. 이때 무작위 추출(randomization)과 눈가림법(blinding)을 이용하게 되면 보다 효과적으로 비뮴립과 교란 효과를 통제할 수 있다.

전자과 과민증(electromagnetic hypersensitivity)이 있는 사람들이 어떤 경우에는 노출 후 수주 혹은 수개월 후에 증상을 호소하는 경우가 있는데, 이러한 부분에 대한 연구는 자원자 연구로 수행되기 어렵고 역학적 연구를 통해 수행되어야 할 필요가 있다.

기지국과 관련된 역학적 연구는 노출 평가에 대한 예비 연구를 포함하여, 타당도가 검증된 측정 방법으로 수행되어야 할 것이다.

IV. RF 건강영향의 생물학적 기전과 Modulation의 역할

지금까지 RF가 건강에 미치는 생물학적 기전에 대해서는 어떠한 증명된 가설은 없다. 무선 통신이 광범위하게 발달하면서, 방출되는 전파의 modulation pattern은 더욱 복잡해지고 있으며, 여기서 핵심적으로 modulated RF radiation이 pure sinusoidal RF보다 더 큰 건강 영향 효과를 보일 것인가 하는 것이다. RF 발생원별로 modulation의 방식은 조금씩 다르다(〈표 3〉)^[4].

결론적으로 말하자면, 지금까지의 연구 결과는 modulation이 RF와 ions, molecules, cells, tissue 및 organ 등 생체의 어떤 단위와도 unmodulated RF와는 다른 예측치 못한 상호 작용을 일으킨다는 것에 대한 증거는 없다(Valberg et al., 2006). RF 발생원 및 RF modu-

〈표 3〉 Modulation characteristics of RF fields in different applications.

Technology	Typical modulation	Ratio, BW/CW frequency	Peak/average amplitude	Examples [CW frequency (GHz)]
AM broadcasting	Amplitude	Very small $\ll 1$	~ 2	AM radio (~ 0.001)
FM radio and television	Frequency	Very small $\ll 1$	~ 1	FM radio (~ 0.1)
Mobile communications	Pulse and frequency	Very small $\ll 1$	~ 10	UMTS, TETRA, GSM, TDMA, CDMA, (~ 0.4-2)
Radar	Pulse	Modest < 1	100	Airport radar (~ 4)
Ultra-wideband, spread spectrum	Short pulse	Large ~ 1	100	Military applications (~ 2-20)

Abbreviations: BW, bandwidth; CW, carrier wave. Adapted from Foster and Repacholi (2004).

<표 4> Modulation schemes tested for tumorigenicity in animal models (Elder, personal communication, all the studies are in the WHO EMF Database).

MHz, central frequency	Type of modulation tested	No. of tests made	Effect on tumor incidence	
			Increase	No increase
800-9,400	CW	15	3	12
915	AM	5	0	5
836-903	FM	4	0	4
435, 2,450	PW	3	1	2
848, 1,763	CDMA	5	0	5
849	DAMPS	1	0	1
836	FDMA	1	0	1
900-902	GSM	22	3	19
836-1,500	TDMA	9	0	9
1,616	Iridium	2	0	2
5,680	UWB	1	0	1
Total no. of tests		68	7	61

Abbreviations: AM, amplitude modulated; CDMA, code division multiple access; CW, carrier wave (unmodulated RF); DAMPS, digital advance mobile phone system; FDMA, frequency division multiple access; FM, frequency modulated; GSM, global standard for mobile; PW, pulsed wave; TDMA, time division multiple access; UWB, ultra-wide band. Iridium is satellite telephony.

lation의 종양 발생능에 관한 동물 실험은 지금까지 36편이 발표되었는데(68번의 실험), 그 결과는 최근의 연구일수록 더 잘 디자인된 연구일수록 종양능이 없는 것으로 보고하고 있다(<표 4>)^[4].

RF field가 만들어내는 힘에 비추어 세포 단위에서 단백질의 구조에 변화를 초래할 수 있는 힘의 크기를 비교한 연구에 의하면^[5], RF 노출로 인하여 전달되는 에너지는 세포 단위에서 단백질의 구조 변형을 초래하기에는 너무나 작다는 것이다. 즉, 이동 전화가 생성할 수 있는 최대의 SAR 2 W/kg에 해당하는 조직 수준에서의 전력장은 1 GHz에서 약 ~45 V/m에 해당한다고 할 수 있다. 단백질이 100개의 비균형된 전자를 가지고 있다고 보았을 때, 이 분자에서의 45 V/m는 최대 약 0.0007 piconewtons의 힘을 형성한다고 볼 수 있으며, 이 힘은 단백질 분자의 구조적 변형을 초래할 수 있는 최소 단위의 힘에 비하여 10,000배 이상 적은 힘이다^[4].

결론적으로, 무선 RF의 건강 영향의 생물학적 기전에 관한 뚜렷한 과학적 증거는 아직 없으며, 따라

서 많은 부분 앞으로 추가적인 연구를 통해 해결해야 할 과제가 산적해 있다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] H. P. Hutter, H. Moshhammer, P. Wallner, and M. Kundi, "Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations", *Occup. Environ. Med.*, vol. 63, no. 5, pp. 307-313, May 2006.
- [2] G. Neubauer, M. Feychting, Y. Hamnerius, L. Kheifets, N. Kuster, and I. Ruiz et al., "Feasibility of future epidemiological studies on possible health effects of mobile phone base stations", *Bioelectromagnetics*, vol. 28, no. 3, pp. 224-230, Apr. 2007.
- [3] S. J. Regel, S. Negovetic, M. Roosli, V. Berdinas, J. Schuderer, and A. Huss et al., "UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance", *Environ. Health Perspect.*, vol. 114, no. 8,

- pp. 1270-1275, Aug. 2006.
- [4] P. A. Valberg, T. E. van Deventer, and M. H. Repacholi, "Workgroup report: base stations and wireless networks-radiofrequency(RF) exposures and health consequences", *Environ. Health Perspect*, vol. 115, no. 3, pp. 416-424, Mar. 2007. Epub 2006 Nov 6 (3:416-24):Epub.
- [5] P. A. Valberg, C. M. Long, and S. N. Sax, "Integrating studies on carcinogenic risk of carbon black: epidemiology, animal exposures, and mechanism of action", *J. Occup. Environ. Med.*, vol. 48, no. 12, pp. 1291-1307, 2006.
- [6] G. Abdel-Rassoul, O. A. El-Fateh, M. A. Salem, A. Michael, F. Farahat, and M. El-Batanouny et al., "Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations", *Neurotoxicology*, vol. 28, no. 2, pp. 434-40, 2007.
- [7] R. Santini, P. Santini, J. M. Danze, R. P. Le, and M. Seignem, "Symptoms experienced by people in vicinity of base stations: II / Incidences of age, duration of exposure, location of subjects in relation to the antennas and other electromagnetic factors", *Pathol. Biol.(Paris)*, vol. 51, no. 7, pp. 412-415, 2003.

≡ 필자소개 ≡

하 미 나

서울대학교 의과대학 의학과 (의학사)

서울대학교 보건대학 (보건학석사)

서울대학교 의과대학 (의학박사)

서울대학교 의과대학 예방의학 전공의

미국립보건원 국립암센터 방사선역학부 방문연구원

현, 단국대학교 의과대학 예방의학교실 부교수