

초청논문

휴대폰 단말기 관련 국제규격 연구 동향

김 남

충북대학교 정보통신공학과

요 약

무선의 자원을 사용하는 통신장비들의 급속한 보급으로 인체가 RF에 노출될 때의 영향에 관심이 고조되고 있고, 이동 전화기의 인체영향에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이를 바탕으로 국제적인 인체영향 규제치와 규정근거 및 측정방법에 대한 이론적 전개가 활발히 진행되고 요구된다. 특히, 이 중에서도 셀룰라 전화기에서 발생하는 RF의 인체 영향에 대한 역학적 또는 암 발생에 관한 국제연구 동향을 살펴보고 셀룰라 전화기와 심장박동기의 간섭에 대하여 알아본다.

I. 서 론

1-1 셀룰라 전화기에 대한 공공의 관심 및 걱정

최근 사회, 경제 활동 및 정보화의 눈부신 발달로 다양해지고 있는 무선통신 이용기술은 시간과 거리를 극복하고 이동성을 최대한 보장해 주므로 말미암아 현대사회에서 중요한 기반기술로 자리잡고 있다. 그러나 한편으론 전파이용시설에서 발사되는 전파가 생체에 좋지 않은 영향을 미치고 있는 것은 아닌가 하고 불안과 의문이 제기되고 있으며, 생체가 강한 전자파에 노출되었을 때 전자파 에너지에 의한 생체 체온의 상승, 신경 및 근육의 흥분 등 생체작용이 발생하는 것이 국내외 여러 조사연구를 통해 발표되고 있다.

특히 낮은 전력과 높은 주파수를 사용하는 셀룰라 전화기에 대한 공공의 관심은 1992년 사망한 H. David Reynard의 부인 수잔이 장시간 셀룰라 전화기 사용에 의한 뇌암이라고 주장하면서 제출된 소송에서 유래한다. 그 소송은 H. David Reynard가 그녀의 이동통신회사 GTE와 휴대폰 제조회사 NEC를 상대로 해서 제기됐으며, 이 사건이 Ft. Lauderdale Sun-Sentinel에 처음 보고되었고 1993년 1월에 CNN TV망으로 Larry King이 Reynard와 함께 인터뷰함으로 널리 많은 관심을 갖게 되었다. 소송(suit)에 대한 뉴스는 셀룰라 회사의 주식(stock) 가격을 급격히 떨어뜨렸고 회사들은 대중들에게 셀룰라 전화기가 안전하다고 확신시킬 수 있도록 유도했고, 셀룰라 사용자들은 전화기 사용을 분명히 꺼려했으나 셀룰라 전화기 가입율과 사용은 이 시기에 급격히 떨어지지 않았다. 이 소송은 1995년 5월 17일에 플로리다주 탐파지역 지방법원에 의해 기각되었는데 기각의 근거로 1993년 연방대법원의 “Daubert 대 Merrell Dow Pharmaceuticals” 판례를 인용하여 “판사는 쟁점과 관련된 전문가의 신뢰할만하고 직접적인 증언만을 받아들여야 한다. 전문가의 개연성에 대한 주장은 채택하기 어렵다”는 것이었고 또한 허가에 필요한 Florida's standards를 만족하는 것에 대한 반증의 부족 때문이었다.

II. 본 론

2-1 진행중인 셀룰라 전화기 연구

널리 사용되고 있는 셀룰라 이동 전화기는 인간에게 긴요한 것이나 무선통신의 마이크로파에 의한 노출은 건강을 위협하고 있다. 저레벨 마이크로파 노출에 대한 과거 연구들은 현재까지도 광범위하게 진행될 정도로 많은 의구심을 내포하고 있다. 송수화기에 안테나가 부착된 셀룰라 전화기는 사용자의 머리에 직접 / 간접적으로 마이크로파를 방사한다. 방사는 1 watt보다는 작지만, 인간의 머리에 노출될 경우 가까운 방송탑에 노출되는 것보다 훨씬 크게 되고, 이와 같은 마이크로파 노출이 뇌세포에 암유발 가능성이 있다는 것이 문제가 되고 있다.

최근 셀룰라 전화 산업 협회(CTIA: Cellular Telephone Industry Association)의 연구 기구인 무선기술 연구소(WTR: Wireless Technology Research LLC)는 저레벨 마이크로파 셀룰라 전화기 신호에 의해 발생하는 영향을 연구하는데 수백만 달러에서 수 천만 달러로 계속 증가하고 있다. 공정한 연구를 위해 식품의약품국(FDA)과 하바드 대학 공공건강대학원의 위험분석센터(Center for Risk Analysis)에 의해 감독되고 있으며, 유럽과 태평양 통신사들이 주요 연구 프로그램을 지원하고 있다.

최근의 셀룰라 통신은 유럽의 UHF TV와 비슷한 800~900 MHz 대역에서 운용되고 있으며 몇 개의 유럽 시스템 450 MHz 대역을 실용하고 있다. 일부지역에서는 최신 디지털 기술로 1,800~2,200 MHz 대역을 이용하게 될 것이며 이런 주파수 대역은 공공의 안전을 위해 안정성 여부를 확인해야 한다. 마이크로파의 생물학적 영향에 대한 연구가 다양한 주파수를 이용하여 광범위하게 진행되고 있으며, 산업 및 가전제품에 많이 이용되는 27 MHz, 915 MHz, 2,450 MHz의 주파수에 대해 집중적으

로 연구가 이루어지고 있다. 하나의 주파수에 대한 결과가 다른 주파수에 그대로 적용되지 않기 때문에, 반복된 연구가 이루어져야 한다. 더욱이 과거의 연구는 셀룰라 전화 이용자들이 경험하는 것보다 높은 전자파를 이용한 연구였다.

2-2 셀룰라 전화 가입자의 역학(Epidemiologic) 연구

셀룰라 전화 사용자의 마이크로파 노출에 대한 정확한 원리를 찾는 연구와 더불어, 증가하고 있는 질병의 영향이 사용자에게 미치는 정도를 파악하기 위한 역학 연구가 확산되고 있다. EMF 역학연구의 포착하기 어려운 성질 때문에, 셀룰라 전화기가 건강에 역효과를 유발한다는 뚜렷한 증거가 제시될 때까지 많은 연구가 지속되어야 하고, 어떤 영향이 나타나기까지는 수 년간의 노출이 있어야 할 것이다.

1991년에 미국에서는 암으로 사망한 전체 숫자는 약 514,300명에 이르고, 약 17,600명이 뇌암으로 사망했다. Wisconsin대학의 F. Kristian Storm 교수에의 보고에 의하면 인구 100,000당 5~6 정도의 암발생률은 지난 10년간 변하지 않고 있다고 한다. 20살 이상의 성인 1억 8천만명 중에서 약 2천만명이 셀룰라 전화 이용자이고, 이는 전체 성인의 11퍼센트이다. 수학적으로 볼 때 다른 특별한 원인을 생각하지 않는다면 뇌암에 걸린 사람 중 1,956명이 셀룰라 전화 이용자라고 추정할 수 있다. National Institute of Health의 한 기관인 National Cancer Institute는 1993년에 셀룰라 전화 이용자 중 350여명이 새로운 뇌암에 걸릴 것이라고 추정했는데, 오히려 이 숫자는 일반적인 통계값보다 밀도는 수이다. 암과 셀룰라 전화 이용간의 데이터는 아직 신뢰할만하지 않기 때문에 실제로 얼마나 많은 경우가 발생하는지는 알 수 없다.

현재 다른 연구원들이 미국내 4개의 도시에서 770,390명의 셀룰라 전화기 사용자의 요금 고지서

기록을 통해 셀룰라 전화이용과 사망 관계성을 조사하고 있다. 요금 고지서 기록에서 휴대용(hand-held)과 이동통신용(bag or installed)으로 전화기를 구별하고 전화기 고유번호를 통해 사용자의 인적사항을 연계시키는 것이다. 두 전화기의 차이점은 휴대용 전화기의 경우, 안테나가 사용자의 머리에 근접해 있으나, 이동통신용은 차밖에 설치되어 안테나가 머리와 상당히 이격된다. 사용자를 휴대용과 이동통신용 전화 가입자로 구분하고, 각 사용자의 사회보장 번호(social security number)를 기초로 하여 각각의 사망상태를 분석하였다. 255, 868명이 고려되었으며, 이중 604명이 1994년 1년간 사망했다. 이 자료는 사용된 전화기의 종류와 가입기간에 따라 구분되었다. 사망의 뚜렷한 원인은 연구를 통해서 밝혀지지 않았으며, 상대적으로 단기간의 전자파 노출로 인해 전화 사용과 사망과의 연관성도 밝혀지지 않고 있다. 일반적으로 휴대용과 이동통신용 전화기에 따른 사망자의 수는 비교 가능하다. 개인 요금 고지서의 사용을 금지하는 소송이 혹시 미래의 연구를 금지할지라도, 상기 연구는 셀룰라 전화기 사용자의 역학연구의 기초가 될 것이 분명하다.

단지 몇몇 사람만이 셀룰라 전화를 이용하여 암을 얻었다고 하여 셀룰라 전화기가 암을 유발한다고 확신할 수 없다. 이 숫자는 매우 작기 때문에 셀룰라 전화에 의한 암과 다른 가능한 원인으로부터 발생하는 암을 구별하기는 매우 어렵고, 오히려 다른 많은 요인들이 암의 발생과 성장의 원인이 되므로 명확하게 말할 수는 없다. 만일 셀룰라 전화 이용자가 평균보다 높은 발생률을 갖는다는 것이 과학적으로 증명된다면, 다른 모든 것들도 같게 될 것이고 셀룰라 전화가 암의 발생원인이 된다고 말할 수 있을 지 모른다.

2-3 셀룰라 전화기 방사에 대한 노출 유형

무선기술연구소(WTR)는 최근 기초연구와 역학

조사를 지원하고 있다. 연구내용은 셀룰라 전화기 전자파 방사와 모든 방사량의 인체노출에 대한 광학적 분석이다. 전자파 방사에 대한 모의실험을 하기 전에, 전화기 사용시 노출 파라미터가 무엇인지 알아야 한다. 전화기 사용시간, 사용자와 전화기 위치, 안테나 방사신호의 세기와 방사패턴, 사용자의 머리에 미치는 신호의 강도와 머리 속으로 침투하는 신호의 크기 등 여러 요소에 따라 달라진다.

전자파 방사량 측정 연구는 셀룰라 전화기의 노출기준—노출기준은 세포조직에 국부 최대 노출량 또는 “hot spot”과 관련된 기준—을 설정하기 위한 것으로, 통신업계에서는 중요한 부분으로 자리 잡고 있다. 방사량 측정 결과 마이크로파 노출 정도는 눈과 같이 온도를 낮추는 혈액순환이 거의 없는 신체 조직에 대한 안전기준에는 근접하고 있다.

무선주파수와 마이크로파 에너지에 대한 노출은 비흡수율(SAR)에 의해 수치화 된다. 이는 W/kg으로 표시되며, 1 그램 또는 10 그램의 신체조직이나 전신에 대한 평균수치로 표현된다. 셀룰라 전화기 마이크로파의 뇌 노출에 대한 최악의 경우를 고려하여 컴퓨터 모형을 기초로 한 SAR은 하나의 뇌 세포에 대해서 2 W/kg, 다른 조직의 세포에 대해서는 5 W/kg 이었다고 WTR은 지난해에 보고했다. 전신에 대한 SAR은 일반 대중에 대한 노출기준인 0.08 W/kg보다 작은 0.004 W/kg이었다. 머리에 대한 SAR의 평균치는 최고 0.3~4.0 W/kg으로, 1그램의 조직당 1.6 W/kg인 표준기준을 초과한다. 머리 대 전신의 노출비가 1,000 : 1로서, 동물의 전신을 마이크로파에 노출시키는 것은 셀룰라 전화기 사용의 위험성을 연구하는데 적합하지 않으며, 실제 머리에 노출시켰을 때 의미가 있다.

전자파 방사량 측정은 이론과 수학적 계산을 기초로 이루어지거나 세포와 유사한 젤(gel) 물질로 만들어진 인체모형(phantom)을 이용한 실제 측정을 통해 이루어진다. 양쪽 모두, 실제 신체(또는 머리)와 같은 물질로 만들어졌거나, 또는 다양한 전파 흡수성질을 갖는 다층 조직으로 이루어진 모형이

〈표 1〉 대표적인 셀룰라 전화기 전자파 방사량 측정값

연 구 기 관	측 정 방 법	노 출 부 위	최대 방사량(W/kg)
무선기술 연구소(WTR)	컴퓨터 모형 계산에 대한 검토	하나의 뇌세포	2
		다른 하나의 세포	5
		전신	0.004
		머리의 평균 피크치	4
오스트리아 연구소 (Austrian Research Center)	계산	뇌	4
		눈	6
프랑스 통신사 (France Telecom)	수학적 계산	뇌	0.5
모토롤라(Motorola)	인체 가상모형 측정	머리(flip phone)	1.6
		머리(classic phone)	0.4
오스트레일리아 통신사 (Telecom Australia)	인체 가상모형 측정	뇌	0.8
		눈	0.21
		눈(안경 착용)	0.27

다. 예를 들어 이탈리아의 연구원들은 실제 머리의 지방, 뼈, 뇌, 기타 조직과 같은 모형을 제작했다. 기존의 모형과는 달리, 특정 마이크로파의 다양한 흡수 형태를 계산했다. 머리의 MRI영상을 기초로 다른 컴퓨터 모델 연구가 진행되고 있다.

미국 모토롤라 연구원은 특수 젤과 유리섬유를 이용하여 뇌와 물리적으로 유사한 간단한 물리적 모델 또는 가상모형을 제작했다.

모형을 이용하여 셀룰라 전화기의 마이크로파에 대한 다양한 노출유형을 실제로 측정했다. 연구결과 머리의 관자놀이에 대한 최고 SAR은 1.6 W/kg이며, 뇌보다 노출이 심한 귀, 볼 부분이 골수보다 전자파 흡수가 높았다. 모토롤라 연구원들은 휴대용 플립 전화기의 경우 안테나를 접었을 때는, 안테나가 전화기에 포함되므로, 안테나를 완전히 펼쳤을 때보다 대략 두 배 높은 SAR을 나타낸다고 결론지었다. 안테나 차폐장치의 설치로 최대 SAR을 감소시키거나 전화기 유효 방사거리를 감소시키고, 방사 에너지가 본체로 유입되어 전화기의 온도상승을 가져온다. 전화기 형태뿐만 아니라, 사용되는 마

이크로파 주파수가 전자파 흡수 정도에 영향을 준다는 것이 관찰되었다. 인간 머리모형이 실험용 전화기에 노출될 경우, 1,800 MHz보다 900 MHz에서 더 많은 마이크로파 에너지가 흡수된다고 보고되었다.

눈에서의 계산된 SAR은 6 W/kg 이상으로 셀룰라 전화기 사용자의 노출기준인 0.4 W/kg - 계산에 따라 낮아질 수 있음 - 을 크게 초과한다. 뇌와 눈에서의 온도상승은 그 조직의 일반적인 온도 변동의 일부분으로, 신체의 냉각기관에 의해 쉽게 정상으로 회복된다. 인간의 뇌 조직의 신진대사 비율은 8~10 W/kg이므로, SAR이 대략 1 W/kg인 셀룰라 전화기에 의한 온도상승을 모토롤라측은 논리적으로 부인했다. 셀룰라 전화기 마이크로파 대역에 적용되는 가장 엄격한 노출기준은 1 그램 조직당 1.6 W/kg이다. 노출기준은 신체에 역효과를 일으키는 레벨로부터 유도되며 전신에 대한 평균 4 W/kg 노출은 인간의 휴식간 에너지 생산율보다 2.5 배 높은 것이다. 안전지침은 온도영향에 기초로 한 것보다 적어도 10 배 정도 낮은 값을 가지고 있다.

〈표 2〉 마이크로파 에너지의 노출 기준

미국	미국 국립 표준위원회(ANSI) / 전기 전자 기술인 협회(IEEE)	1 그램 세포조직 : 평균 1.6 W/kg
		전신 : 평균 0.08 W/kg
영국	국립 전자과 방사 위원회(NRPB)	10 그램 세포조직 : 평균 10 W/kg 미만
		10 그램 세포조직(6분간) : 2 W/kg
유럽	전기기술 표준화	전신(6분) : 0.08 W/kg
	유럽위원회(CENELEC)	

안테나 외에도 전화기 자체가 미세한 저주파 전류와 회로에 의한 자계를 방출하는 것이 잠재적인 위험이 된다는 연구가 진행되고 있다. 사용자는 머리에 근접하여 전화기를 사용하므로, EMF는 더욱 위험성이 높다는 측면에서 연구가 수행되어야 한다.

2-4 마이크로파 노출 기준

국가표준제정 기관들은 셀룰라 전화기 사용자와 관련한 마이크로파 에너지의 노출 기준을 다음과 같이 설정했다. 제한기준은 SAR로 표시된다.

ANSI 표준은 생물학적으로 가장 민감한 파라미터인 동물 행동(animal behavior)의 변화를 관찰한 결과를 기준으로 한 것이다. 동물은 최소 4 W/kg의 마이크로파 에너지에 노출되었을 때 행동의 변화를 일으킨다. 이는 신체 중심부 체온을 1°C 증가시키는 최소값이다. 직업상 노출기준은 10배의 안전율을 고려하여 설정된 0.4 W/kg이고, 전신노출은 직업상 노출기준을 5로 나누어서 설정된 0.08 W/kg이다. 최대노출은 전신노출의 평균치보다 20 배 높은, 1 그램의 조직에 대해 1.6 W/kg이다.

연방통신위원회(FCC)와 같은 미국의 규제기관들은 ANSI 표준을 근거로 한다. 그러나 미국의 환경보호청(EPA)은, 1 W/kg의 낮은 노출에도 악영향이 발생하므로 위의 레벨은 상당히 높게 설정되었다고 말한다.

2-5 셀룰라 전화기 신호 피해에 대한 제반 연구

저레벨 마이크로파 노출의 안정성을 측정하는 대부분의 연구는 세포배양과 실험용 동물의 암, 유전적인 독성 상태를 연구하는 방향으로 진행되고 있다. 암 연구는 신경과 행동연구를 통해 보완되며 이와 같은 주제에 대해 앞으로 연구보고가 계속되어 새로운 결과가 나올 것으로 기대된다. 현재 셀룰라 전화에서 사용하는 주파수와 통신변조방식과 관련된 연구분야의 발표결과 및 진행사항에 대해 정리하면 다음과 같다.

1) 종양

WTR은 1995년 6월 보고한 자료를 근거로, 동물을 통한 연구를 통해 마이크로파는 종양의 원인이 안된다고 발표했다. 완료된 일부 연구에 지나지 않으나 WTR은 인간 암 위험과 밀접한 연관이 있다고 생각되지 않는다.

2) 암 발생

세포와 동물을 이용한 암 발생 연구는 셀룰라 전화기 형태의 신호가 발암성질을 갖고 있다는 근거를 찾지 못하고 있다. 그러나 다른 주파수대의 마이크로파를 이용한 연구는 어느 정도 발암 원인이 있음을 보여줬다. 셀룰라 주파수에 대해 세계 곳곳에서 진행된 최근 연구는 다음과 같다. 방출량은 최대 노출량을 말하며 단위는 SAR보다는 W/cm² 으로 주어진다.

- 837 MHz TDMA신호에 0.037~3.7 mW/cm²로 노출시 정상 및 변형된 뇌연결 세포조직

예 세포증식은 없었다.

836.55 MHz 신호가 음성신호로 변조되어, 쥐의 신경세포에 $1\sim10 \text{ mW/cm}^2$ 로 노출시 세포증식은 없었다.

- TDMA 837 MHz 신호에, 배양된 섬유세포에 3.7 mW/cm^2 로 노출시 화학적인 형질의 변화를 가져왔으며 그 아래 노출량에서는 변화가 없었다. 후자의 효과에 대해 일치하지는 않으나 나쁜 결과에 대한 임계값(threshold)이 있는가에 대해 심사숙고하고 있다.
- GSM 900 MHz 신호에 0.2 mW/cm^2 로 노출시 형질이 변형된 세포(신경교종, 선종, 백혈병)에 뚜렷한 세포증식은 없었다.
- 915 MHz의 펄스신호와 연속신호는 종양을 유발하지 않았으며, 신경교종 세포를 뇌에 투여 받은 쥐의 종양을 악화시키지 못했다.
- 900 MHz와 922 MHz 신호는 X선에 노출된 세포와 쥐에 주사한 종양세포의 증식에 영향을 끼치지 못했다.
- 900 MHz와 1,800 MHz 신호는 배양된 백혈병 세포의 증식에 영향을 끼치지 못했다.

3) 염색체 영향(세포 유전학)

마이크로파의 세포에 대한 유전적인 영향에 관한 연구를 요약하면 다음과 같다.

- 915 MHz를 마이크로파에 관한 연구에서 $0.0001\sim4 \text{ W/kg}$ 의 SAR은 신경교종 세포와 뉴로스포라 진균류 세포의 유전인자 복사를 촉진한다. 이런 실험은 반복적으로 일어나지 않고 건강영향 관계가 분명치 않기 때문에, 이런 연구는 논쟁의 여지가 있다.
- 900 MHz와 1,800 MHz GSM 변조 마이크로파(각각 6.2 mW/kg 와 29.4 mW/kg)에 건강한 사람의 혈구 노출시 임파구에는 변화가 일어나지 않았다.
- 노동자의 혈액배양이 직업적으로 $50\sim900 \text{ MHz}$ GSM 기지국 신호에 노출시 염색체상의 변화는 없었다.

화는 없었다.

- 건강한 사람의 혈액배양이 954 MHz 신호에 등가적으로 SAR 1.5 W/kg 의 노출시 염색체상의 변화는 없었다.
- 그러나 똑 같은 연구원들은 노동자의 혈액배양을 954 MHz 기지국 신호에 노출시 돌연변이를 유발하는 화학물과 마이크로파 간에 공동작용의 징후를 포착했다.

4) 신경 효과

다른 마이크로파를 이용한 연구는 저레벨 마이크로파 노출은 생리적인 스트레스 요인으로 작용한다는 것을 보여줬다. 셀룰라 전화기 주파수 대역을 이용한 몇 가지 실험결과가 다음과 같이 요약된다.

- 쥐가 900 MHz와 1,800 MHz의 신호에 0.2 mW/cm^2 (등가 SAR : 0.1 W/kg)로 노출시 성상세포(astrocyte cell)의 활동 정도를 나타내는 뇌 화학물질인 감마아미노산(GABA) 또는 GTFA-P에 변화가 없었다. 주파수와 노출레벨이 증가함에 따라 뇌 연결조직상의 성상세포의 증식을 가져올 수 있었다.
- 그러나 다른 연구원들은, 16 MHz 펄스형태의, 915 MHz와 880 MHz 신호가 1 mW/cm^2 에서 쥐 뇌의 감마아미노산(GABA)과 글루타민 흡수력을 변화시킨다는 것을 알아냈다. 또한 880 MHz 신호 노출은 enzyme acetylcholine esterase를 감소시킨다. 그러나 이러한 러시아 연구는 반복되는지 의문이 있다.

5) 셀룰라 전화기와 뇌암과의 관계 연구

암 발생에 관한 WTR연구는 New York에 있는 AHF(America Health Study)에 의해서 실행될 계획인데, 이 분야의 작업들은 NIH(National Institutes of Health)의 진행승인 관계로 유보되고 있다. NCI(National Cancer Institute)는 AHF의 셀룰라 전화기와 뇌암과의 관계에 대한 시험적인 연구에 재정을 후원하고 있다.

WTR의 이 Project는 조직학적 면에서 흔하게 뇌암으로 분류되는 500명의 환자와 다른 종류의 뇌 종양으로 병원에서 치료중인 500명의 환자들에 대한 연구이다. WTR의 후원하에, AHF는 청각계통의 신경종과 셀룰라 전화기 이용과의 관계에 대한 연구도 실행할 계획이다. 이 연구에 임상학적 부분을 담당하는 부서로는 Memorial Sloan-Kettering과 New York 대학교의 의학센터, Massachusetts 종합병원, Rhode Island 병원, UCLA 의학센터 등이다.

이 프로젝트는 1994년에 발간된 WTR의 연구 비망록에 수록되어 있는 과학수행계획(Scientific Work Plan)을 연장한 것이다.

WTR은 독립적인 조사그룹으로서 Washington, DC에 근거지를 두고 있고 대중의 건강에 대하여 중요한 판단을 할 수 있도록 과학적인 데이터 베이스를 구축하고 무선통신으로부터의 대중에 대한 잠재적인 위험의 연구를 조정하기 위하여 조직되었다. 1969년에 설립된 AHF는 질병과 병원의 퇴치와 예방에 기여하기 위한 비의성 사립조사기관이다. 또 이 기관은 NCI에서 암예방 분야에 기여하는 유일한 기관이기도 하다.

6) Repacholi 연구그룹의 디지털 셀룰라 전화에 대한 쥐 실험

1997년 4월 30일 디지털 셀룰러 폰 통신에 노출된 쥐와 암과의 연관성에 대한 자극적인 연구결과가 오스트레일리아의 Telstra Corp. Ltd에 의해 공식적으로 발표되었다. 18개월간 매일 한시간씩 디지털 셀룰러 전화 통신신호에 노출된 쥐들은 노출되지 않은 쥐들보다 2배 가량 림프종에 걸릴 확률이 높은 것으로 나타났다.

오스트레일리아에서 활동하고 있는 Dr. Michael Repacholi 연구그룹은 림프종에 걸리기 쉽도록 특별히 유전적으로 조작된 쥐 변종(變種)에 필스 변조된 900 MHz 무선 주파수를 장기간 노출시키는 연구로서 실험 중에 사용된 무선 주파수는 디지털

이동통신에 사용되는 것과 유사한 것이다. 실험에 사용된 쥐의 변종 C5713L/6NTac E(mu)-*Pim1*은 표준적 동종(同種)간에 *Pim1* 종양 유전자의 복제가 추가된 변종이다. 정상적인 조건하에서 10달의 생존기간을 갖을 경우에는 5~10 %의 쥐들이 림프종을 발병하고 18달의 생존기간을 갖는 경우에는 25 %의 종양 발병율을 기록했다. 실험은 약 100 마리의 암컷 쥐들이 일출과 일몰전 (낮과 밤 시작 직전이 동물의 생체 주기가 가장 활발할 때이다.) 30분씩 무선 주파수에 노출되거나, 가(假)노출되었다. 노출의 등급은 실험 동물의 크기와 우리 안에서의 위치에 따라 변경시켰으나(비흡수비(SARs)를 0.0078 W/kg에서 4.2 W/kg까지), 최대 노출등급에서는 동물의 정상적인 물질대사에 의해 생성된 열보다 근소하게 크며, 일반적으로 온화한 체열을 가질 수 있도록 하였다.

실험이 시작된지 10달이 지나자 주파수에 노출된 쥐들 가운데 림프종에 걸린 수가 현저히 증가하게 되었다. 실험 개시 18개월 후에는, 무선 주파수에 노출된 101마리 중 43마리가 림프종에 감염되었고, 이는 100마리 중 22마리가 림프종에 걸린 무선 주파수에 가노출된 그룹과 비교할 때, 통계적으로 중대한 위험성의 증가를 의미한다고 볼 수 있다. 총 림프종 발병율은 배 이상 증가하여 2.42의 비율로 95 %의 신도를 나타내며(신뢰구간 1.3에서 4.5), 비(非)임파모 세포 임파종은 현저히 불균등한 비율 2.7을 보였으며 신뢰도는 95 %였다(신뢰구간 1.4에서 5.4).

이러한 연구결과가 인간에게 단순히 준용되어서는 곤란하다. 변형된 유전자를 보유한 쥐 변종은 암 발병이 쉽도록 인위적으로 조작된 것이었으며, 따라서 암 발생인자에 매우 민감하게 반응하도록 되어진 것이다. 활성화된 *Pim1* 종양 유전자는 단독으로 암 유발에 기여하는 것이 아니며, 다른 종양 유전자를 수반해야 하는 악성종양 발병과정 첫 단계에 있는 것으로 고려되는 것이다. 활성화된 *Pim1* 유전자의 숙주 역할을 하는 인간은 존재하지 않는

것으로 알려져 있으며, 만약 종양이 생체 시스템에 유입될 수만 있다면 인간의 경우를 보다 직접적으로 모델링하는 것이 가능할 것으로 보여지지만 실제 생체실험은 어려울 것이다.

Dr. Repacholi는 스위스 제네바에 소재하는 세계 보건기구(WHO)의 세계 환경건강 사무국(Office of Global and Integrated Environmental Health)의 방사 전문가로서 WHO에 의해 1996년 계획된 국제 EMF 프로젝트의 프로젝트 매니저로 EMF 가 건강에 미칠 수 있는 영향에 대하여 국제적 평가와 검토를 담당하고 있다.

2-6 맥박 조정기와 셀룰라 전화기 간섭

셀룰라 전화기의 마이크로파 노출에 의한 비생물학적 영향은 맥박조정기, 보청기와 같은 의료기기와 전자적인 간섭을 일으킨다. EMI와 건강과의 밀접한 관계가 있는 맥박조정기의 결함에 대한 파악이 가속화되고 있다. 1996년 5월 WTR지원으로 이루어진 연구결과가 제출되었고, 현재로는 미국 내에서 일부 운용되는 디지털 방식의 셀룰라 전화기에만 국한되는 문제인 듯하다.

EMI 간섭을 줄이기 위한 기술적인 해결방안은 맥박조정기 상의 회로 일부를 수정하는 것이며, 구형 맥박조정기를 사용하는 환자에게는 EMI 발생장비를 피하도록 경고해야 한다. 디지털 전화기는 다양한 전자파 간섭으로 맥박조정기의 정상적인 동작을 방해할 수 있다. 전자파 간섭은 맥박조정기의 동작을 일시적으로 멈추거나, 전원을 차단하고 맥박을 비정상적으로 빠르게 할 수 있다. 전화기 사용자의 가슴 부위의 주머니(그리고 켜져 있을 때)에서 사용시 맥박조정기 위에 안테나가 위치할 때 가장 간섭이 일어날 확률이 높아진다. 또한 전화기의 벨이 울리거나, 번호를 누를 때 간섭이 발생한다. 아날로그 전화기에서는 큰 문제가 발견되지 않으므로, 맥박조정기를 착용한 환자는 가능하면 아날로그 전화기를 사용하는 것이 바람직하다.

최근에 WTR과 전문가로 이루어진 팀은 셀룰라 전화기와 심장박동기와의 간섭에 관한 연구조사에 대한 규약을 결정하였고 WTR은 전자장에 대한 실험을 승인했다. 셀룰라 전화기로부터 나오는 전자파에 대한 노출이 심장박동기의 동작에 간섭을 일으키는지에 대한 연구를 하기 위하여 임상학상의 유전학적 규약이 최종화 단계에 왔고 이에 대한 연구조사는 심장박동기가 셀룰라 전화기로부터 방사되는 전자파의 간섭을 받을 때 인체의 건강에 위험한지를 결정하는 기초가 될 것이다. WTR은 심장박동기에 가깝게 셀룰라 전화기를 사용할 때 발생하는 간섭을 설명하기 위한 예비실험 연구에 대하여 언급했고 이에 대한 보고서는 무선 기술에 대한 많은 의구심을 일으켰으며 미래 연구조사의 필요성을 지적했다. 이 규약을 완성하기까지는 9개월 정도의 시간이 소요되었다. 이 기간 중 많은 회의와 모의실험을 거쳐 규약에 대한 초안이 작성되었고 여러 연구소의 방문이 이루어졌으며 규약의 합동개발과 정보를 모으는 일에 많은 노력이 이루어졌다. WTR의 규약에 따르면 연구조사는 임상실험에 승인한 다양한 연령층과 심장박동기를 사용하는 사람과 사용하지 않는 환자 모두에 대하여 이루어졌다. 시험 대상의 환자들에게 무작위로 전화기를 선택하게 하여 일반전화기처럼 귀에 대고 사용하게 하였고 전문가들은 이식된 심장박동기 위에 전화기를 위치하였다. 실험 대상의 전화기는 곧 사용예정이거나 지금 사용 중인 아날로그식과 디지털식 모두에 해당되었다. 그러나 연구팀들의 구성원들 간에 아날로그 전화기가 간섭의 우려가 적기 때문에 이를 연구대상으로 포함시키는 것에 대해서 논쟁의 여지가 있었다.

“심장박동기와 셀룰라 전화기의 간섭에 대한 잠재적인 위험”이라고 명명된 이 규약에서 임상학적 연구표준은 WTR에서 이전에 발표한 연구비망록에 기초를 두고 있다.

이 연구조사를 토대로 WTR은 심장박동기의 사용자들이 셀룰라 전화기를 사용할 경우 사용중인 심장

박동기로부터 적어도 6인치 이상의 거리를 두고 셀룰라 전화기를 사용할 것을 권고하는 내용의 6인치 규정을 발표했다. ‘셀룰라 전화기의 안테나를 사람을 향하게 하여 사용해서는 안되고 위에서 언급한 바대로, 전화기를 켠 상태로 가슴부위의 주머니에 넣어 사용하지 않을 것 등의 권고 내용이 이에 포함된다. 심장박동기의 사용자가 WTR의 권고안에 따라 셀룰라 전화기를 사용한다면 간접에 대한 위험은 없다.’라고 WTR의 의장인 Carlo는 말하고 있다. 셀룰라 전화기의 심장박동기 간접에 대한 연구는 셀룰라 전화기로부터 나오는 신호가 심장박동기의 동작속도에 영향을 미칠 수 있는지를 조사하는 것이기 때문에 이동전화산업체들에 의해서 수행되었다. 이 연구조사에서 건강에 대한 문제가 발견되지는 않았지만 연구조사는 잠재적인 인체의 유해영향을 알아보기 위해 시행되었다.

그러나, FDA(미식품의약품국)은 6인치 규정에 대하여 다른 견해를 보이고 있다. FDA는 이동전화기와 심장박동기 사이의 관계에 대한 연구조사가 충분히 이루어져야 한다는 견해를 보이고 있다.

III. 결 론

주목할만한 연구는 일반적으로 전자장의 영향에 관해서 수행되어온 동안 작업은 무선 통신 장치와 시스템에 의해 발생된 특수한 주파수와 세기 범위에서 발생의 가능한 건강 효과에 관해 아직 거의 이루어지지 않았다. 현존하는 문헌들 중 부족한 점은 오랜 기간 노출에 대한 영향 연구가 부족하다는 것이다.

현존하는 자료 또한 매우 혼돈을 야기시킨다. 셀룰라 전화기에 의해 발생된 것들과 유사한 특성을 가진 전자장에 노출된 세포와 동물실험에 대한 – 어떤 그러나 모든 것이 아닌 – 연구는 이상한 세포성장과 증가된 악성발생을 포함한 행동적이며 생물학적인 결과를 일으킬 수 있다. 그러나 전자파와 암 사이에 요구된 링크들을 포함한

다른 연구들의 결과는 일관성이 없고, 해석하기 어렵다.

GAO는 1994년 11월에 아날로그 셀룰라 전화의 안전성을 수행하는 연구를 통해 휴대용 셀룰라 전화기로부터 방사열의 낮은 레벨에 오랜 시간 노출로 인해 인간이 피해를 입었다는 어떤 연구도 이루어지지 않았다고 결론지었다. 저레벨 무선 주파수 방사의 다른 소스에 대한 노출에 관한 연구결과는 결론에 이르지 못한다. 어떤 연구실 연구는 생물학적 결과가 동물과 세포에 저레벨의 무선 주파수 방사에서 과도하게 노출된 것이라고 제시한다. 그러나 대부분은 그렇지 않다고 말하고 있으며, FDA와 EPA의 과학자들은 휴대용 셀룰라 전화기가 인간 건강에 위험한지를 결정하기 위해 충분한 증거를 제공하지 않는다고 말했다. EPA는 EMF노출에 대한 신뢰도를 가지고 있으며, FDA는 방사에 대한 표준을 세우고, FCC는 안전한 방사레벨을 확인하고 무선통신장치를 이용하는 것을 승인하는 역할을 한다. 앞으로 무선통신장치가 인체에 미치는 영향에 대한 것을 1997년과 1998년에 완수하기 위해 국립암연구소에 의한 역학적 연구를 제외하고는 연방정부에 의해 진행될 것이다.

무선기술의 영향과 관련된 생물학적 연구는 진행중이며, 명확한 연구결과가 나오기까지는 수년이 걸릴 수도 있다. 무선신호는 많은 특성을 갖고 있으므로 생물학적인 연구가 활발히 이루어져야 한다. 송신탑보다 전자파 노출이 심각한 셀룰라 전화기의 전자파 방사에 대한 관심이 집중되고 있다. 정확한 전자파 방사량 측정은 거의 이루어지지 않고 있다. 국한된 신체조직의 전자파 노출은 표준 안전기준에 접근하고 있으나, 안전대책에 대해서는 관심이 결여되어 있다. 전자파 방사 형태의 개선과 전화기의 출력 조정을 통해 세포조직의 전자파 노출을 기준 이하로 낮추어야 한다.

또한 전자파가 질병과 연관이 있다면, 질병이

규명되기 전까지 많은 사람의 전화기 이용과 수년간 신체상 질병의 잠복이 요구될 수도 있다. 질병을 규명하기 위한 의생태학적 연구가 시작되어야 하며, 전자파에 의한 건강 영향이 확증된다면 셀룰러 전화기의 설계변경을 통해 건강 위험을 줄이도록 노력해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 생체와 전자환경, 일본 EMC 잡지, EMC No. 79-No. 88, 1994. 11. 1995. 8.
- [2] Mitchell, N., Collier, Cellular Phone Research Underway, EMF Health Report, 1996. 5 /6.
- [3] 전기통신기술심의회답신, 자문 제 38호 [전파 이용에 있어서의 인체방호지침], 무선설비검사검정협회, 1990. 6.
- [4] IEEE C95.1-1991, IEEE Standards for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, 1992.
- [5] IRPA /INIRC, Guidance on Limits of Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 100 kHz to 300 GHz, *Health Physics*, 54, pp. 115-123, 1988.
- [6] EMF-Link, WTR Announces Funding of Cellular Telephone and Implanted Device Interference Studies, 1995. 10.
- [7] EMF-Link, WTR Recommends "Six-inch Rule" for Cellular Phones and Pacemakers, 1996. 10.
- [8] EMF-Link, WTR Funds Multi-Center Case-Control Study to Examine Possible Risk of Brain Cancer from Cellular Telephones, 1996. 6.
- [9] Office of Technology Assessment, Wireless Technologies and the National Infrastructure, 1995.
- [10] General Accounting Office, Status of Research on the Safety of Cellular Telephones, GAO /RCED-95-32, Washington, DC, Nov. 1994.

디지털 셀룰러 폰 통신이 암의 유발과 중대한 관련성을 맺고 있다는 사실이 오스트레일리아에서 행해진 쥐에 대한 연구에서 밝혀졌다.

By Robert B. Goldberg, Ph. D.
Information Ventures, Inc.

최근 수정된 날짜 :
1997년 4월 30일 수요일 18시 08분 32초

판권 1994~1997, Information
Ventures, Inc.

■■■ 저자소개 ■■■

1981년 2월 : 연세대학교
전자공학과 (공학사)

1983년 2월 : 연세대학교 대학원
전자공학과 (공학석사)

1988년 8월 : 연세대학교 대학원
전자공학과 (공학박사)

1992년 8월 ~1993년 8월 : 미 Stanford대학 방문교수

1989년 2월 ~현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수
본 학회 전자장과 생체관계연구회 연구위원

[주관심 분야] 위성통신, 전자파 해석, 전파전파, 적응배열 안테나,
EMI / EMC

