

2012 한·중·일 초고압 직교류 전기 환경 합동 심포지움

〈극저주파 자계에 의한 생물학적 영향〉



이 재 선
한국원자력의학원 방사선의학연구소

1. 개 요

현대문명에 익숙해진 사람들의 주변은 온통 전자기기로 둘러싸여 있다고 해도 과언이 아니다. 우리는 대부분

사무실에 출근해서 컴퓨터에서 이메일을 확인하는 것으로 하루를 시작한다. 전기에너지 없는 하루를 생각하면 우리가 겪게 될 엄청난 불편과 혼란은 너무나도 극명하다. 전기에너지를 사용하는 과정에서 방출되는 극저주파

자계는 사람들의 건강에 과연 어떠한 영향을 미칠 수 있을까? 극저주파 자계의 건강 영향에 대한 연구가 진행되면서 다양한 암과 극저주파 자계와의 연관 가능성이 지속적으로 제기되었다.

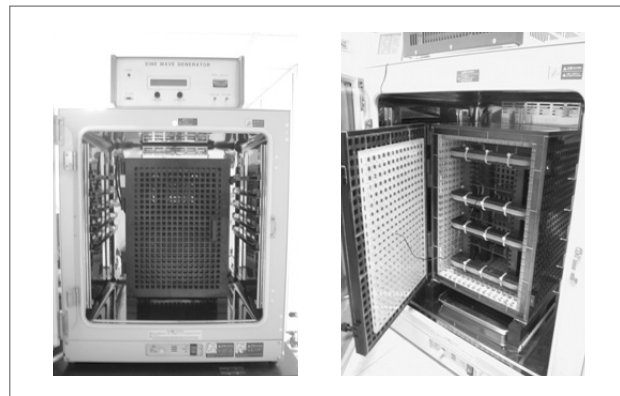
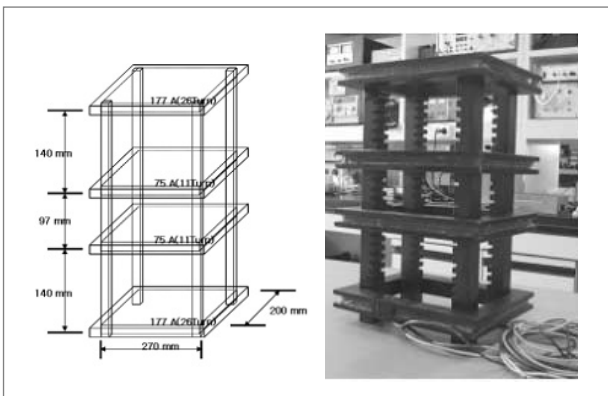
특히 1979년 미국에서 어린이 백혈병 증가와 극저주파 자계 노출 상호간에 연관성이 있을 수 있다는 역학연구 결과가 보고된 이후 일반인들의 극저주파 노출에 대한 불안감은 여전히 지속되고 있다. 하지만 최근의 역학연구 결과들은 극저주파 자계 노출과 백혈병이나 다른 암과의 명백한 연관성이 없음을 보고하고 있다.

현재까지 전력설비 자계가 인체 건강에 미치는 영향에 대한 많은 연구들이 수행되었지만 매우 상이한 조건에서 수행된 상반된 연구결과들이 보고된 것으로 이에 대한 최종적인 결론은 유보되고 있다. 국내에서는 세포배양 시스템을 이용하여 다양한 생물학적 분석지표에 대한 전력설비 자계의 생체 영향 가능성에 대한 세포실험 연구를 수행 중에 있으며, 지난 5월 16일~17일 한국전력공사 고창PT센터에서 대한전기학회 주관으로 마련된 '2012 한중일 합동 심포지움'에서 극저주파 자계와 생체간의 영향가능성에 대한 세포실험연구 결과를 발표하였다.

2. 다양한 극저주파 자계의 생물학적 영향 가능성 분석 연구

어떠한 물질이나 자극이 생체에 어떠한 영향을 미치는가를 연구하기 위해서는 역학연구, 동물실험연구, 세포실험연구라는 세 가지 다른 시스템을 이용한 연구가 가능하다. 세포실험연구는 역학연구나 동물실험연구에 비해 생체에 대한 직접적인 영향을 분석하는 데는 불리한 점이 있기는 하나 비교적 적은 비용으로 연구결과를 얻을 수 있다는 장점과 함께 다양한 생물학적 지표에 대해 짧은 기간 내에 분석이 가능하며 영향이 나타날 경우 그 작용기 전에 접근이 용이하다는 또 다른 이점을 가지고 있다. 따라서 본 연구진은 보다 다양한 분석방법을 이용해 극저주파 자계의 생체 영향가능성을 분석한다는 점에 중점을 두고 세포실험연구를 수행하고 있다.

60Hz 극저주파를 자계에 세포를 노출하기 위한 세포 노출장치는 그림 1과 같이 전기연구원의 명성호 박사팀과 단국대학교 김윤명 교수팀에 의해 제작되었다. 전자기 노출 시 수반되는 온도상승이 세포에 부가적인 영향을 미치는 것을 배제하기 위해 노출시스템의 전자계 발생 코일주변에 저온수를 순환시켜 자계 노출이 진행되는 동안 세포는 항온상태($37 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$)를 유지하면서 노출 실험을 수행하였다.



[그림 1] 극저주파 자계 발생장치(좌)와 세포배양기 내부에 설치된 자계세포노출시스템 사진(우)

가. 유전자 발현에 대한 영향 연구

최근 분자생물학적 연구기술의 진보에 힘입어 고집적 대단위 분석기법이 놀라운 속도로 발전하고 있다. 2,000년 6월 미국정부는 1990년부터 시작되어 10여년간 진행되어 완성된 인간게놈프로젝트를 드디어 발표하였다.

이는 이러한 고집적 대단위 분석기법이 어떻게 우리의 실생활 특히, 의학에 접목될 수 있는지를 보여주는 가장 대표적인 사례라고 할 수 있다. 미국 정부는 인간게놈 프로젝트의 완성을 위해 원자폭탄 개발, 달 착륙프로젝트에 이은 거대한 세 번째 프로젝트에 막대한 비용을 투자하면서 국제적인 컨소시움을 구성하여 인간의 DNA 전체 염기서열을 규명하였다(그림 2 참조).

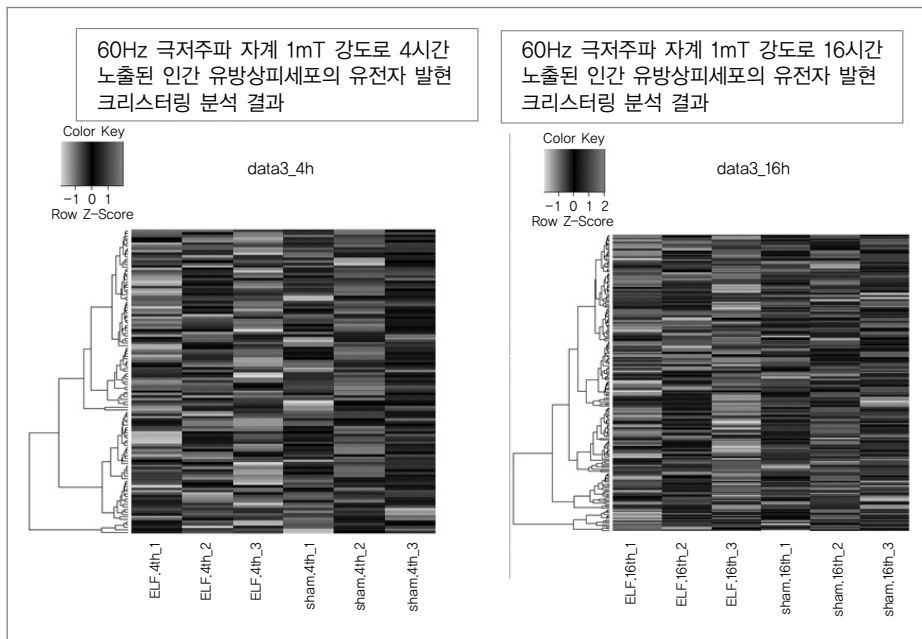
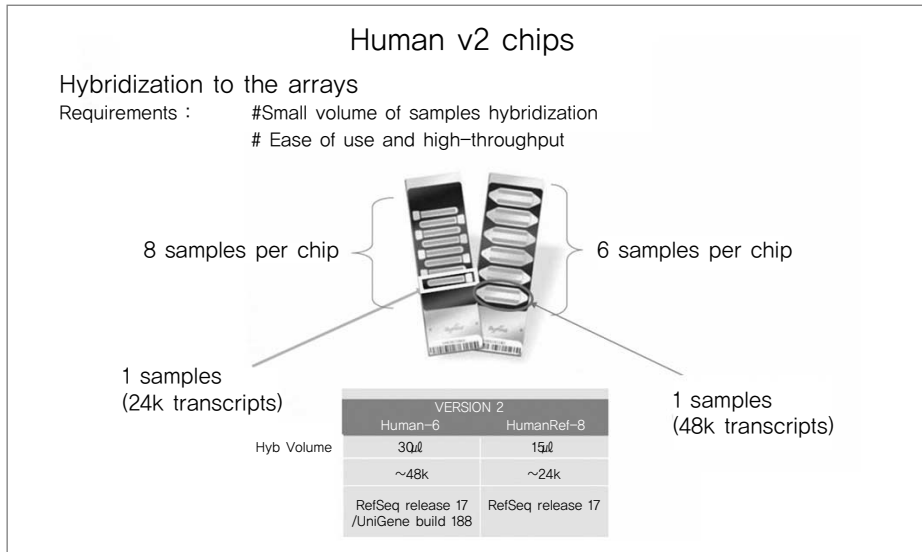
10여년이 지난 현재 그 기술의 진보속도는 실로 놀라운 것이어서 27억 달러의 막대한 연구비와 연구인원을 동원해 13년의 긴 연구기간에 완성 가능했던 인간 전체 DNA 염기서열분석은 조만간 100~200만 원 정도의 적은 비용으로 누구나에게 적용 가능한 실험기법이 되었다. 그리고 이러한 인간게놈프로젝트의 결과에 힘입어 현재는 약 2~3만개로 추정되는 전체 인간유전자가 집적되어

있는 마이크로어레이 칩을 이용해 세포나 생체에서의 유전자 발현 양상을 한 번의 실험으로 분석할 수 있는 고집적 대단위 분석기법인 마이크로어레이 기술이 가능하게 되었다(그림 2 참조). 이러한 기술은 반도체의 칩 기술에서 착안한 것이며, 이는 현대사회의 다양한 기술의 융합의 또 다른 대표적인 사례이기도 하다.

본 연구에서는 극저주파 자계 영향 연구의 일환으로 자계 노출이 유전자 발현에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다. 60Hz 극저주파 자계에 4시간 혹은 16시간 동안 1mT의 자계강도로 노출된 인간정상유방상피세포로부터 전체 mRNA를 분리하고 이를 유전자칩 분석기법에 적용할 수 있게 처리하여 인간유전자 24,000개 mRNA 발현 정도에 미치는 극저주파 자계의 영향을 분석한 것이다. 유전자칩 분석법은 매우 민감한 실험기법으로 실험적인 오차나 다른 간섭요인이 배제되도록 세심한 주의를 기울여야 하며 세 번의 독립적인 실행과, 이 실험 결과는 개개의 유전자 발현을 분석하는 전통적인 분석기법을 이용하여 재검증되어야 한다. 이상의 실험으로부터 극저주파 자계는 24,000개 인간유전자 발현에 통계적으로 유의한 변화를 유발시키지 않는다는 결론을 도출할 수 있었다(그림 3 참조).



[그림 2] 인간게놈프로젝트의 완성을 발표하는 미국 국립보건원의 프랜시스콜린 스박사와 그 연구결과가 수록된 '네이처' '사이언스' 잡지의 표지 사진



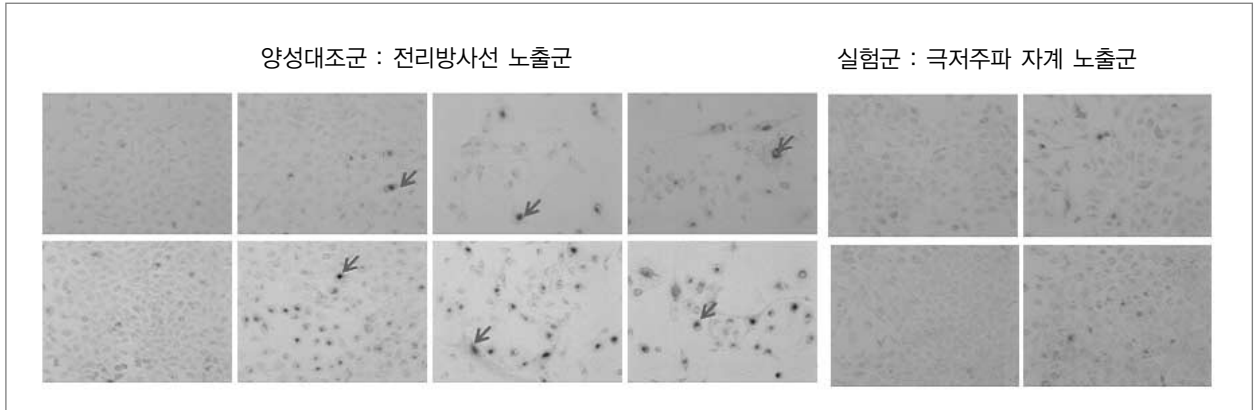
[그림 3] 유전자칩을 이용한 유전자발현분석 실험기법의 모식도(위)와 유전자칩분석기법을 이용한 극저주파 자계영향 분석결과

나. 세포 내 활성산소에 대한 영향 연구

활성산소는 우리가 호흡을 하는 동안 자연스럽게 발생하는 부산물이나 그 양적 균형이 깨져 과도하게 생체 내에 축적되게 되면 세포 내 유전자, 단백질, 지질 등을 공격하게 되어 생체 물질들이 제 기능을 수행할 수 없게 된다.

이러한 활성산소는 암, 노화, 치매 등 다양한 질병과의 연관성이 입증되면서 세포가 활성산소의 양적 균형을 정확하게 유지하는 것이 건강유지에 매우 중요하다는 사실이 끊임없이 제안되고 있다.

적포도주와 색깔있는 야채 등은 이러한 활성산소의 생체 내 증가를 억제할 수 있는 항산화효소를 다량 함유



[그림 4] 전리방사선에 대한 노출된 양성대조군 실험결과(화살표는 전리방사선 노출에 의해 노화되어 노화세포에 대해 특징적으로 염색되는 노화연관베타갈락토시다아제 염색법에 의해 염색된 인간유방상피세포를 나타냄)(좌)와 60Hz 극저주파 자계에 노출된 정상적인 인간유방상피세포 사진

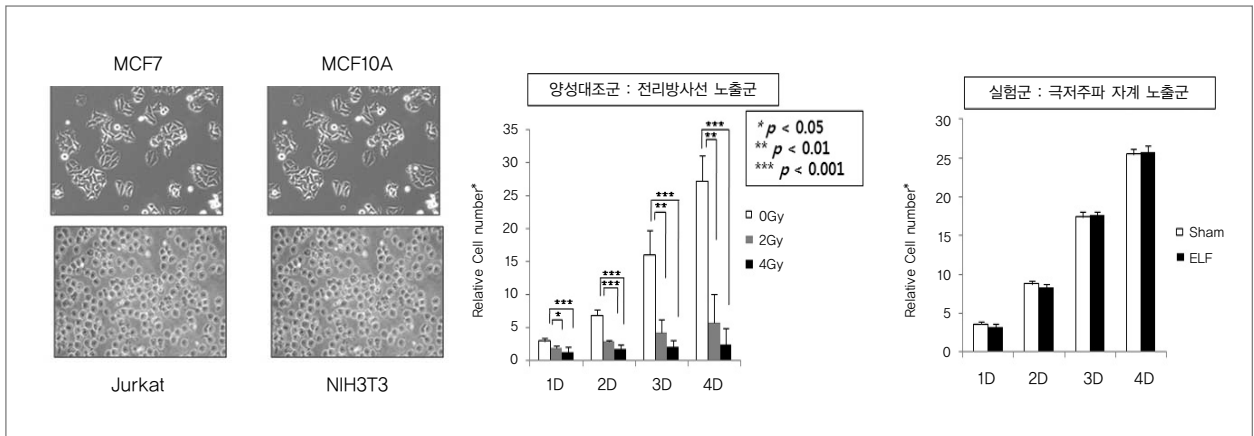
하고 있기 때문에 건강에 중요한 식품으로 최근 각광 받고 있다.

극저주파 자계 노출이 세포 내 활성산소의 양적 변화를 유도할 수 있는가? 그리고 세포내 활성산소 균형 유지를 위해 중요한 기능을 수행하는 항산화효소 활성화에 영향을 미칠 수 있는가? 활성산소에 매우 민감한 세포노화를 유도할 수 있는가?를 분석하였으며 연구결과 1mT 노출 강도로 노출된 세포주에서 극저주파 자계는 세포에 유의할 만한 산화적 스트레스원으로 작용하지 않음을 확인할 수 있었다(그림 4 참조).

다. 세포증식에 대한 영향 연구

세포증식은 가장 기본적인 세포의 기능이다. 생체는 유전자보전을 위한 숙명을 가지고 있으며 세포의 유전자 보전의 숙명은 세포증식을 통해 이루어지는 것이다.

이러한 세포증식의 이상은 암이나 생체 내 기관의 비정상적인 쇠퇴 등 다양한 생체 영향으로 나타날 수 있다. 현재 극저주파 자계가 세포증식에 영향이 있으며 세포 증식을 증가시키거나 감소시킨다는 상반된 연구결과들이 보고되고 있다. 이와 함께 세포증식에 대한 영향이 없다는 연구결과들도 다수 보고되고 있는 상황이다.



[그림 5] 극저주파 자계의 세포증식 영향을 분석하기 위해 사용하는 세포주들(좌)과 전리방사선과 극저주파 자계에 의한 영향 분석의 일부 실험결과

본 연구에서는 극저주파 자계노출이 세포증식에 미치는 영향 연구를 수행 중이다. 8종의 다양한 종류 세포를 이용하여 0.1mT, 0.5mT, 1mT, 혹은 2mT의 다양한 자계 강도에 노출 후 세포증식에 대한 영향을 분석하고 있는데 1mT 이상의 자계 강도에서 실험에 사용한 일부 세포주에서 전자계의 영향이 관찰되어 현재 이에 대한 면밀한 반복검증 실험을 수행 중이며 본 연구결과는 연구가 종료되는 2013년 결론이 도출될 수 있을 전망이다(그림 5 참조).

이번 연구결과의 일부는 Journal of Radiation Research에 2012년 게재되었으며 현재 연구 중인 연구도 연구결과가 확보되는 데로 국제전문학술지에 게재하여 우리나라에서 수행되는 극저주파 전자계의 세포실험 연구내용 및 연구결과를 발표할 예정이다.

3. 향후 연구 계획

현재 극저주파 자계는 휴대폰 주파수 대역의 라디오파 전자계와 함께 인간에게 발암성이 있을지도 모르는 물질인 2B 그룹으로 분류되어 있다. 세계보건기구(WHO) 산하 국제발암연구단체(IARC)는 물질에 대한 인간 발암성 여부를 5단계로 분류하고 있는데 인간에게 암을 일으키는 물질인 그룹 1, 인간에 대한 발암성이 아마도 있는 물질 그룹 2A, 인간에게 발암성이 있을지도 모르는 물질 그룹 2B, 인간 발암성 정도에 대해 분류가 불가능한 물질 그룹 3, 인간에게 암을 일으킬 개연성이 없는 물질 그룹 4으로 분류하고 있으며, 2B 그룹에는 커피, 피클 등도 포함되어 있는 상태로 현재까지 인간과 동물에게 전자계가 발암원으로서 작용하는지에 대한 증거는 불충분한 상태이다. 따라서, 극저주파 자계노출에 대한 다각도의 생체 영향 분석 연구의 수행은 일반인의 전자계 노출에 대한 막연한 불안감에 대해 보다 확실한 과학적 근거를 제공하기 위한 노력으로 중요한 의미를 갖는다. KEA