

특 집

전자파 발생원과 인근 주민의 건강영향에 대한 역학적 연구

하 미 나, 임 형 준*

단국대학교 의과대학 예방의학교실, 서울대학교 의과대학 예방의학교실*

I. 서 론

지금까지 전자기장과 인체의 건강영향에서 주된 관심사가 되어 왔던 내용은 고압송전선 주변 지역에 거주하는 주민들에서의 건강영향이었다. 고압송전선에서 발생하는 전자기장은 주파수가 60Hz 정도에 해당하는 극저주파 전자기장이었다.

현재까지 이러한 극저주파 대역의 전자기장이 인체에 미치는 건강영향이 어떤 기전을 통해서 이루어지는지는 명확히 밝혀져 있지 않으나 몇몇 역학적 연구에서 환경적 또는 직업적인 전자기장에의 노출과 주로 암을 중심으로 한 인체 건강영향 사이의 관련성을 보고하였다(Wertheimer, 1979; Savitz 1989; Olsen 1993).

한편, 라디오, TV 방송국 송신소에서도 이들 극저주파 전자기장과 주파수 대역은 다르지만 또한 전자기장이 발생하고 있다. 이들 송신소에서는 주로 주파수 대역이 1000kHz에서 1000MHz 사이에 해당하는 무선주파수 대역의 전자기장이 발생한다. 보다 최근에는 휴대용 무선전화, PCS 이동전화 등의 개인 휴대용 무선통신 장비의 폭발적인 보급의 증가와 이에 따른 무선기지국 안테나 등의 증가로 인하여 이러한 무선주파수 대역의 전자기장이 인체에 미치는 영향에 대한 관심이 새롭게 등장하고 있다.

현재까지 알려져 있는 무선주파수대와 극저주파 대역의 전자기장이 생체에 일으킬 수 있는 영향은 크게 두 가지로 나뉘는데 생체조직 전자기장 흡수로 인해 발생하는 가열 작용과 자극 작용이 바로 그것이다. 무선주파수대의 전자기장의

경우 충분히 근거리에서는 이러한 가열 작용을 통해 영향을 미칠 수 있으며, 1000kHz 정도의 AM 라디오 방송과 이하의 주파수에서는 가열 작용 및 자극 작용이 동시에 나타나는 것으로 알려져 있다.

한편 무선 주파수 대역의 전자기장이 인체에 미치는 건강영향에 대한 역학적 연구들은 크게 두 가지 유형으로 나눌 수 있는데 첫 번째 유형은 노출지역과 노출의 가능성이 떨어지는 지역으로 구분하여 각각의 지역에서 여러 가지 유형의 질병 발생률을 비교하는 형태의 지리적 생태학적 연구유형과 두 번째로 전자기장에 직업적으로 노출되거나 또는 최근의 이동전화에 노출되는 사람들에서의 여러 가지 질병 발생을 대조군에서의 발생률과 비교하는 형태로 나눌 수 있다.

첫 번째 유형의 연구로 Hocking(1996)은 호주의 한 지역에 위치한 TV송신국 주변 지역과 송신국에서 멀리 떨어진 지역사이의 생태학적 역학 연구에서 전 연령군의 백혈병과 소아 백혈병의 발생률이 유의하게 높았으나 뇌암 발생률의 증가는 없었다는 연구 결과를 발표했다. 이 연구에서는 실제로 무선주파수의 노출을 측정하지는 않았으나 계산에 의하여 TV송신국 주변의 노출량이 0.0002-0.008mW/cm² 정도였다고 하였다. McKenzie(1998)는 Hocking의 연구가 이루어진 것과 같은 지역에서 같은 기간동안 전자기장에의 노출정도에 대한 보다 정확한 추정치를 이용하여 재조사를 하였는데, 그 결과 송신소 주변 지역 중 한 곳에서 소아 백혈병의 증가를 발견하였으나 다른 지역들에서의 증가는 관찰할 수 없었고, 발생된 소아 백혈병도 방송국 송신소가

송출을 하기 전에 발생한 경우가 대부분이었다고 밝혀 Hocking의 연구결과가 잘못된 것임을 지적하였다. 한편 Dolk(1997)는 영국 서튼콜드필드 지역의 FM/TV 방송국 송신소 주변의 백혈병과 림프종의 초과 발생에 대한 연구에서 방송국 송신소 주변 2km 이내의 지역에서 성인에서의 백혈병과 피부암의 발생률이 증가되었다는 사실을 발견하였다. 그러나, 뇌암, 여성에서의 유방암, 림프종 및 다른 종류의 암과의 연관성은 없었다고 보고하였다. 이 연구에 이어 Dolk(1997)는 자신의 연구를 영국내의 20곳에 달하는 다른 고출력 FM/TV송신소까지 확대하였으며, 피부흑색종, 성인 백혈병, 방광암, 소아 백혈병 및 소아 뇌암 등과의 관련성에 대하여 조사하였다. 그러나 이 대규모 연구에서는 자신의 선행 연구결과(Dolk, 1997)와 호주의 Hocking(1996)의 연구와 달리 거리에 따른 암 발생률의 감소 또는 증가가 없었다.

두 번째 유형의 연구로 Robinette(1980), Hill(1988), Milham(1988) 등의 연구에서는 무선주파수대의 전자기장에 직업적으로 노출되었을 가능성이 있는 사람들에서의 여러 종류의 암 발생률을 대조군과 비교한 연구인데, 이들 연구는 전자파에의 노출치를 직접 측정하는 것이 아니라 대개의 경우 사망진단서에 기재되어 있는 직무명 또는 직업명으로부터 확률적으로 전자기장에의 노출정도를 추정해 낸다는 한계가 있으나 이들 연구들에서는 모두 공통적으로 암발생률의 증가를 확인할 수 없었다. Szmigielski(1996)는 폴란드에서 무선주파수에 노출된 군인들에 대한 연구에서 뇌암, 백혈병, 림프종 등의 발생률이 증가하였다고 보고하였으나, 이 연구에서 사용된 자료 수집 또는 분석 방법들이 적절하지 못하고, 노출에 대한 평가가 매우 부족하여 역학적인 증거로 받아들여지지 않고 있다. Rothman(1996)은 미국에서 25만명 이상의 이동 전화 사용자들의 의무기록에 대한 연구조사결과 차량용 이동전화 사용자와 휴대용 이동전화 사용자 사이의 사망률에 차이가 없다고 하였으며, 1999년에 이루어진 추적관찰 연구에서(Dreyer, 1999)는

몇 개의 미국 도시의 30만명 정도의 이동 전화 사용자들의 사인을 조사하였는데 차량용 이동전화 사용자와 휴대용 이동전화 사용자 사이의 전체 암 사망률, 백혈병, 뇌암 등의 사망률에 차이가 없다고 하였다. Hardell(1999)은 스웨덴의 이동 전화 사용자들에서의 뇌암에 대한 연구를 수행하였다. 전자기장에의 노출정도의 평가는 설문조사를 통하여 이루어졌으며 핸드프리장치의 사용 또는 차량용 이동전화의 사용은 노출군에서 제외하여 분석한 결과 이동전화사용자에서 뇌암 발생률의 증가가 없었고 양반응 관계도 없었다고 하였다. 그러나, 주로 설문조사를 통하여 주로 이동전화를 사용하는 쪽에 대한 정보를 얻어 각 대상에서 이동전화를 사용하는 손과 등측의 측두엽, 또는 후두엽, 측두 두정엽 부위의 뇌암 만으로 질병 발생을 한정하여 분석하였을 때는 통계학적으로 유의하지는 않지만 초과발생이 있었다고 하였다. Morgan(2000)은 무선 이동 전화 제조업체인 모토롤라사에 근무한 노동자들에서 직무명을 근거로 고농도, 중농도, 저농도 전자기장 노출군으로 나눈 뒤 각 군에서 뇌암, 림프종, 백혈병을 중심으로 한 암사망률의 차이를 비교하였는데 중농도 또는 고농도 노출군에서 저농도 노출군에 비해 뇌암, 백혈병, 림프종의 초과 발생이 없었다고 보고하였다.

한편, 역학적으로 관찰된 사건이 통계적으로 관련이 있다고 해서 이것이 곧바로 특정 노출요인과 건강영향 사이의 인과적인 관계로 결론지어지는 것은 아니다. 그 관찰된 관련성이 인과관계이기 위해서는 다른 가능한 이유들 즉, 우연성에 의한 관련성, 비뿔림과 교란에 의한 관련성 등이 아닌지를 배제하여야 한다. 관련성의 성격을 정하는 체계적인 방법은 Hill(1965)에 의해 정립되었는데, 여기서 제시하는 '인과성 추론을 위한 지침'은 다음과 같다. 먼저 시간적인 관계에서 원인이 결과에 반드시 선행하여야 한다는 점이다. 즉 노출이 질병이 발생하기 이전에 이루어졌다는 것이 확실하여야 한다는 점이다. 둘째는 관찰된 관련성이 다른 분야에서의 지식과 일치하는지, 생물학적으로 그 발생기전을 설명할 수 있는 것

인지, 동물실험 등에서의 증거와 일치하는지 등, 생물학적 개연성이 있다면, 인과성일 가능성이 높아진다. 셋째는, 일관성인데, 이는 다른 연구에서도 유사한 결과가 나오는가하는 것이다. 넷째는, 관련성의 강도인데, 이는 관찰된 관련성의 정도가 얼마나 강한가하는 것으로써, 상대위험도의 크기나 상관계수의 크기 등으로 나타내어진다. 다섯째는, 양-반응 관계인데, 이는 노출수준이 높아질수록 건강영향의 발생이 더욱 현저해 지는 것을 말한다. 여섯째는 가역성인데, 이는 원인이라고 생각되는 노출을 제거하였을 때 질병발병 위험도가 감소하면, 그 관련성이 인과적일 가능성이 높아진다는 것이다. 일곱째로 수행된 연구 디자인이다. 어떤 형태의 연구디자인인가에 따라 인과성을 규명하는 능력이 차이가 있다. 인과성 규명능력은 무작위배정임상시험→코호트연구→환자-대조군 연구→단면적 연구→상관성(또는 생태적) 연구의 순으로 더 미약하다. 그러나 유감스럽게도 인과성을 판단하는 완전하고 신뢰성 있는 기준은 없다. 또한 인과성에 대한 추론은 한시적이며, 이용가능한 증거만을 바탕으로 이루어지므로, 언제나 불확실성이 남게 된다. 개개의 증거들에는 적절한 비중을 두어야 하는데, 즉, 위에서 말한 지침 중 시간적인 선후관계가 확정되면, 생물학적 개연성, 일관성, 양-반응 관계에 가장 큰 비중을 두게 되며, 여러 다양한 지역에서 수행된 다수의 연구가 있을 경우 잘 설계된 연구에서의 연구성적(증거)을 특히 중요하게 취급하여 인과성 유무에 대한 결론을 내리게 된다.

이러한 측면에서 지금까지의 여러 연구 결과를 종합, 평가해 보았을 때 아직까지 어떤 특정한 유형의 암발생과 무선 주파수 대역의 전자기장 사이의 연관성은 확정적이지 못하며 증거 또한 매우 제한적이라 할 수 있다.

그럼에도 불구하고 현실점에서 전자파와 건강 영향에 관한 연구는 다음과 같은 점에서 의미가 있다고 볼 수 있다. 첫째로, 전자기장과 관련된 건강 위해 영향의 가능성은 언론을 통하여 대중들에 너무 잘 알려져 있어 특히 일부 지역(예를 들어, 방송국 송신소 주변지역)에서는 지역 주민

들의 불필요한 건강에 대한 염려가 발생할 수 있으므로 건강 영향을 밝히기 위한 과학적인 연구가 필요하며, 둘째로, 전자기장과 암발생 사이의 일반적인 관련성의 정도가 미약하다 하더라도 소수의 고농도 노출군에 대한 예방적 조치를 통해 효과적으로 건강 위해 영향을 차단할 수 있으며, 셋째로 이들 전자기장이 직접적인 위험요인은 아니더라도 아직까지 밝혀지지 않은 미지의 위험요인과 연관되어 있을 가능성이 있으므로 이러한 위험요인의 규명을 위하여서도 필요하며, 마지막으로 어떠한 새로운 기술이 도입될 때 그에 따라 발생 가능한 건강 위해 요인에 대해서 지속적으로 관심을 가지고 연구하여 좁게는 전자기장 노출환경에서 근무하는 근로자들을 보호하고 넓게는 그러한 기술이 환경적으로 지역주민들에게 끼칠 수 있는 건강 위해 영향을 최소화하는 것이 관련 회사나 공적 사회가 가져야 할 일차적인 의무이므로 또한 필요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 우리나라에서 전자파 발생원이 인근주민의 건강에 미치는 영향을 살펴보기 위하여, 방송국 송신소와 그 인근 주변 주민에서의 암 발생현황을 대조 집단과 비교하여 보고자 하였다. 이를 위하여 의료보험 청구자료, 인구센서스 자료 등의 행정적 목적으로 정기적으로 수집되어 지는 자료를 이용하여 방송국 송신소 주변 지역 주민들에서의 악성림프종, 백혈병, 뇌암, 유방암 등의 암발생 현황을 파악하는 예비적 형태의 연구(생태학적 연구)를 실시하였다.

II. 연구방법

1. 연구에 이용한 자료

본 연구에서는 행정적 목적으로 정기적으로 수집되어지는 의료보험 청구자료, 인구센서스 자료를 이용하였다. 의료보험 청구자료의 경우 각급 의료기관에서 진찰한 환자에 대한 보험청구비용을 의료보험공단에 청구하기 위해 보고하는 자료 중의 일부 내용을 의료보험공단에서 전산화한 자

료이다. 본 연구에서 이용한 의료보험자료의 경우, 1993년 11월부터 1996년 10월 31일 까지의 자료로서 요양기관코드(환자가 이용한 병원명을 알 수 있음), 연령, 성별, 주상병, 부상병(ICD-9 또는 ICD-10 코드로 분류되어 있음), 입원/외래 진료여부, 진료시작일, 총진료청구비 등으로 이루어져 있다.

인구센서스 자료는 통계청에서 5년 간격으로 시행하는 전국민을 대상으로 한 인구조사결과로 본 연구에서 사용한 자료는 1995년도 조사결과이다. 이 자료는 전국의 읍, 면, 동 단위의 5세 간격 연령별 인구분포가 나와 있는 자료이다.

이들 환자들의 거주지에 대한 정보는 주민등록증에 기재되어 있는 거주지 주소에 대한 자료를 이용하였다. 본 연구에 사용한 자료는 1996년의 의료보험 수진자에 대한 주민등록상 거주지에 대한 자료로서, 연구대상자의 거주지에 대한 최소 동, 면 단위의 주소에 대한 정보가 포함되어 있다. 본 연구의 대상자는 10세 미만 어린이는 거주지에 대한 자료수집상의 문제로 인해 제외되었다.

2. 연구 대상 지역 선정 및 인구분포 파악

우리나라의 주요 AM 라디오 방송국 송신소의 주소를 파악한 후 출력이 100~500KW 이상인 송신소 주변 반경 2km 이내의 지역을 고농도 노출지역으로 정의하였다. 실제로 연구 대상에 포함된 지역은 이 반경 2km보다 넓은 지역인데 이는 연구에 사용한 주소지 자료의 경우 대상자의 동, 면 단위의 주소밖에 얻을 수 없어 반경 2km 내에 포함된 모든 동, 면을 포함시켰기 때문이다. 총 10곳의 노출지역을 선정한 이후 각각의 노출지역에 대해 비슷한 인구규모를 가졌고 같은 도에 위치하였고 반경 2km 이내에 방송국 송신소가 없는 지역으로 총 네 곳의 대조지역을 선정하였다. 이들 노출지역과 대조지역의 인구분포를 알기 위해 1995년도 인구 센서스 자료에서 해당 지역의 남녀 성별, 5세 간격 연령별 인구분포를 구하였다. 이 과정에서 인구센서스 자료상의 동, 면 별 인구분포는 우리나라의 최소행정단위인

동, 읍, 면사무소가 관할하는 행정동명인데 반해 주민등록상의 거주지는 법정동 자료로 서로 일치하지 않는 문제가 있어 1995년에 통계청에서 발행된 1995년 대한민국 행정구역 조사자료를 이용하여 해당 지역의 법정동과 행정동을 일치시켜 인구분포를 구하였다.

3. 연구대상질환 선정

본 연구에서는 방송국 송신소 주변의 무선 주파수대의 전자파의 노출과 악성 종양과의 관련성에 초점을 맞추기로 하였다. 현재 물론 극저주파 이기는 하지만 전자파와의 관련성이 제기되고 있는 백혈병, 악성림프종의 혈액 종양질환과 뇌암, 그리고 호르몬 의존성 암이 전자파의 노출과 연관성이 있을 수 있다는 가설이 제기되고 있는 점을 감안하여(Ahlbom, 2000) 유방암을 연구대상질환으로 선정하였다. 백혈병 및 악성림프종의 질환의 경우 최초로 전자파와의 관련성이 제기되어진 질환이며 주로 고압송전선 주변 지역의 어린이들에서 이러한 혈액종양의 발생률이 증가하였다는 여러 연구가 있었으며(Ahlbom et al., 1993; Green et al., 1999), 뇌암의 경우 주로 전자파에 노출되는 직업군에 대한 사망률 연구에서 관련성을 보고한 연구가 일부 있으며(Szmi-gielski, 1996), 유방암의 경우는 본 연구대상질환 중 관련성의 가능성은 가장 낮지만 일부 연구에서 관련성이 연구되고 있어(Feyching et al., 1998), 본 연구의 대상질환에 포함하였다. 각 질병군에 해당되는 ICD-9 및 ICD-10 코드는 다음과 같다.

악성림프종의 경우 ICD-9 코드로 200(Lymphosarcoma and reticulosarcoma), 201(Hodgkin's disease), 202(Other malignant neoplasm of lymphoid and histiocytic tissue), ICD-10 코드로 C81(Hodgkin's disease), C82(Folliculocodular non-Hodgkin's lymphoma), C83(Diffuse non-Hodgkin's lymphoma), C84(Peripheral and cutaneous T-cell lymphoma), C85(Other and unspecified types of non-Hodgkin's disease)인 경

우로 하였다. 백혈병의 경우 ICD-9 코드로 204 (Lymphoid leukemia), 205(Myeloid leukemia), 206(Monocytic leukemia), 207 (Other specified leukemia), 208(Leukemia of unspecified cell types), ICD-10 코드로 C91(Lymphoid leukemia), C92(Myeloid leukemia) C93(Monocytic leukemia), C94 (Other leukemias of specified cell type), C95(Leukemia of unspecified cell type)인 경우로 하였다. 뇌암의 경우 ICD-9 코드로 191 (Malignant neoplasm of brain), 192(Malignant neoplasm of other and unspecified parts of nervous system), ICD-10 코드로 C70(Malignant neoplasm of meninges), C71(Malignant neoplasm of brain), C72 (Malignant neoplasm of spinal cord, cranial nerves and other parts of central nervous system)으로 하였다. 마지막으로 유방암의 경우 ICD-9 코드로 174(Malignant neoplasm of female breast), ICD-10 코드로 C50(Malignant neoplasm of breast)로 하였다.

4. 연구대상자 선정

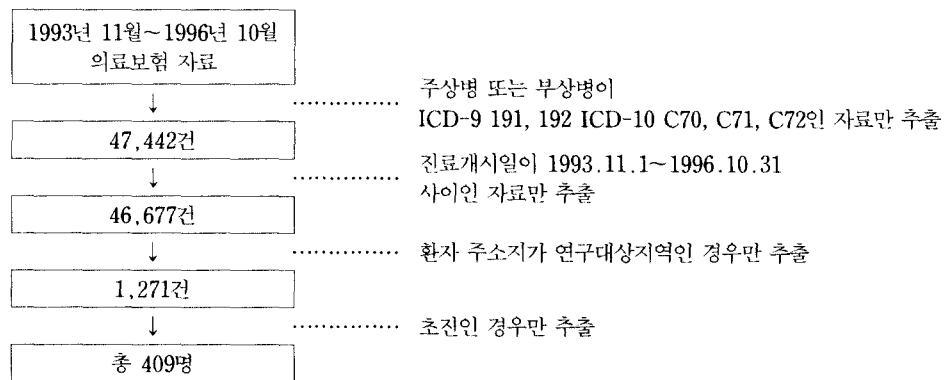
연구 기간인 1993년 11월 1일부터 1996년 10월 31일까지 사이의 기간동안 해당지역에서의 연구대상질환의 발생자 수를 구하기 위하여 의료보험자료를 이용하여 동기간동안 악성립프종, 백혈

병, 뇌암 및 유방암으로 치료를 받아 의료보험이 청구된 연령이 10세 이상의 대상자를 추출하였다. 같은 기간동안 같은 질환으로 여러 번 진료를 받은 사람의 경우 최초 진료만 추출해 내기 위하여 동일인임을 구별해낸 후 동일인에서의 재진 청구는 삭제하고 초진인 경우에 한해서만 대상으로 선정하였다. 이들 선정된 대상자들의 1996년 당시의 거주지가 연구대상지역에 해당되는 사람들만을 재차 추출하였다.

구체적인 대상자 선정 과정을 뇌암의 경우를 예로 들어 순서대로 살펴보면 다음의 <그림 1>과 같다. 첫 번째 단계로 의료보험 자료중에서 주상병 또는 부상병이 ICD-9 191, 192 ICD-10 C70, C71, C72인 자료만 추출하고 두 번째 단계로 실제 진료개시일이 1993년 11월 1일부터 1996년 10월 31일 사이인 자료만 추출하여 연구 기간동안에 발생한 의료보험 청구 자료만 추출하고 세 번째로 이들 대상자중에서 주소지가 연구 대상지역인 경우만 추출하고 마지막으로 동일인에서 중복된 청구를 피하기 위해 재진은 삭제하여 결과적으로 409명의 대상자에 대한 정보를 얻었다.

5. 통계적 분석

10개의 노출지역과 각각의 노출지역에 대한 4개의 대조지역의 발생률 비교에 간접표준화법을 이용하여 분석하였다. 구체적으로 4개의 대조지역에서 각각의 인구분포와 질병 발생자수를 구하



<그림 1> 뇌암의 대상자 선정 과정 흐름도

였고 이들 각각의 결과를 합하여 4개 대조지역의 총 5세 간격 연령별 성별 인구분포와 연령별 성별 질병 발생자수를 구하였다. 이로부터 대조지역에서 연령별 질병 발생률을 구하였고 이를 고농도 노출지역의 연령별 인구분포에 곱하여 각각의 연령군에서 해당질환의 기대발생수를 구하였다. 노출지역에서 실제로 발생한 환자수를 기대발생수로 나누어 표준화발생비(Standardized incidence ratio, SIR)를 구하였고, 이를 백분율로 나타내기 위하여 100을 곱하였다.

구해진 표준화발생비의 통계적 유의성 검증은 두 가지 방법을 이용하여 구하였는데, 구체적으로 기대발생수가 5보다 큰 경우는 카이제곱 분포를 가정한 근사법을 이용하여 유의수준 0.05에서 그 통계학적 유의성을 검증하였고, 기대발생수가 5 이하인 경우에는 카이제곱 분포에의 근사가 힘들기 때문에 포아송분포를 가정한 직접법을 이용하여 유의수준 0.05에서 통계학적 유의성을 검증하였다.

- 표준화 발생비(SIR) 공식

$$SIR = O / E \times 100(\%)$$

- 표준화발생비(SIR)의 유의성 검정식 (근사법 및 직접법)

$$\text{근사법} : X^2 = E \times \left(\frac{SMR}{100} - 1 \right)^2$$

$$\text{직접법} : 2 \times \sum_{k=0}^O \frac{e^{-E} E^k}{k!} \quad \text{if } O < E$$

$$2 \times \left(1 - \sum_{k=0}^{O-1} \frac{e^{-E} E^k}{k!} \right) \quad \text{if } O \geq E$$

SIR: 표준화 발생비, standardized incidence ratio

O: 실제 발생자수, observed number of the diseased patients

E: 기대 발생자수, expected number of the diseased patients

$p^{(s)}$: 전체 표준인구, total size of standard population

$p_i^{(s)}$: i번째 연령군의 표준인구, the size of the i-th age group of the standard population

p_i : 연구집단의 i번째 연령군의 인구, the size of the i-th age group of the study population

e_i : 연구집단의 i번째 연령군의 질환 발생자수, the number of events in the i-th age group of the study population

III. 연구결과

전국의 주요 AM 라디오 방송국의 송신소 중 100~500KW 이상 출력 송신소의 인구와 각 내 군데의 대조지역에 대한 내용이 <표 1>에 나와

<표 1> 노출지역 및 대조지역의 출력 및 10세 이상 인구

구분	노출지역		대조지역	
	출력	인구(명)	구분	인구(명)
A	500kW	47,341	A1	73,138
			A2	82,468
			A3	73,410
			A4	79,925
B	500kW	8,827	B1	8,031
			B2	12,391
			B3	10,132
			B4	10,248
C	100kW	8,660	C1	11,710
			C2	12,796
			C3	18,913
			C4	13,652
D	100kW	14,522	D1	17,317
			D2	14,698
			D3	9,331
			D4	14,498
E	250kW	3,152	E1	3,141
			E2	3,732
			E3	3,508
			E4	3,755
F	250kW	31,857	F1	28,579
			F2	26,466
			F3	32,437
			F4	26,455
G	100kW	3,443	G1	8,959
			G2	5,710
			G3	6,768
			G4	6,386
H	500kW	4,182	H1	4,220
			H2	4,761
			H3	4,362
			H4	5,334
I	100kW	16,795	I1	18,905
			I2	28,271
			I3	18,629
			I4	24,532
J	250kW	18,580	J1	16,226
			J2	16,896
			J3	17,174
			J4	13,653

<표 2> 악성립프중에 관한 노출지역별 표준화발생비(SIR)

노출지역	실제 암발생자수(O)	기대 암발생자수(E)	표준화 발생비(O/E)
A	11	12.4	88.7
B	4	3.2	127.1
C	3	1.7	175.5
D	2	2.1	94.6
E	2	0.9	216.6
F	6	6.3	95.8
G	1	0.3	356.6
H	1	0.7	139.5
I	3	4.2	71.4
J	5	3.0	169.2

* p-value < 0.05

<표 4> 뇌암에 관한 노출지역별 표준화발생비(SIR)

노출지역	실제 암발생자수(O)	기대 암발생자수(E)	표준화 발생비(O/E)
A	10	7.7	129.2
B	4	2.1	190.2
C	2	2.2	92.9
D	5	1.7	153.7
E	0	0.7	0.0
F	4	4.7	84.7
G	1	0.5	213.3
H	2	1.1	186.6
I	8	2.1	379.1*
J	6	6.2	97.6

* p-value < 0.05

있다. 노출지역의 경계는 해당 송신소 반경 2km 이내의 지역으로 선정하였다.

노출지역 10곳과 각각에 대해 짝지어진 4곳의 대조지역 사이의 간접표준화법에 의한 표준화발생비의 분석 결과는 다음과 같다.

악성립프중의 경우 10곳 중 6곳에서 실제 암발생자수가 기대암 발생자수보다 많았으나 모두 다 통계학적으로 유의하지는 않았다(<표 2>). 백혈병의 경우 10군데 중 6군데에서 실제 암발생자수가 많았으나 통계학적으로 유의하게 발생이 증가한 곳은 1군데였다. 유의하게 발생이 감소한 곳도 한 곳이 있었다. 유의한 증가가 있었던 F지역이었는데 이들 지역의 방송국 송신소의 출력은 250kW이다. 한편 암발생자수의 유의한 감소를 보인 지역은 유의한 결과를 보인 지역보다 고농

<표 3> 백혈병에 관한 노출지역별 표준화발생비(SIR)

노출지역	실제 암발생자수(O)	기대 암발생자수(E)	표준화 발생비(O/E)
A	6	13.2	45.4*
B	2	1.9	107.3
C	5	3.0	168.9
D	1	1.7	58.6
E	0	0.2	0.0
F	6	1.9	309.6*
G	0	1.0	0.0
H	2	0.4	517.8
I	3	2.6	117.2
J	6	2.7	221.7

* p-value < 0.05

<표 5> 유방암 노출지역별 표준화발생비(SIR)

노출지역	실제 암발생자수(O)	기대 암발생자수(E)	표준화 발생비(O/E)
A	31	37.4	83.0
B	7	6.6	106.0
C	16	10.2	157.5
D	5	4.7	150.3
E	2	1.3	159.0
F	12	13.0	92.0
G	1	2.4	42.4
H	3	1.4	211.6
I	7	5.3	132.9
J	6	8.4	71.4

* p-value < 0.05

도 노출지역인 A 지역으로 이곳은 출력 500kW의 송신소가 있는 지역이다(<표 3>). 뇌암의 경우 10군데 중 6군데에서 실제 암발생자수가 기대 암발생자수보다 많았으나, 통계적으로 유의하게 발생이 증가한 곳은 한군데로 100kW 출력의 송신소가 위치해 있는 I 지역이었다(<표 4>). 유방암의 경우 10곳 중 6곳에서 실제 암발생자수의 증가가 있었으나 어느 것도 통계적으로 유의하지 않았다(<표 5>).

IV. 고 찰

본 연구는 우리나라 AM 라디오 방송국 송신

소 주변지역에서 무선주파수 대역의 전자기장이 지역 주민들의 전신적인 건강에 미치는 영향을 알아볼 목적으로 시행되었다. 전신적인 건강영향 중에서도 특히 악성림프종, 백혈병, 뇌암 및 유방암과 같은 악성종양에 주목하여 방송국 송신소 주변지역과 인구수로 짝짓기한 네 곳의 대조지역에서의 이들 연구대상 질환의 발생률의 차이를 1994년부터 1996년까지의 3개년 동안의 의료보험 자료를 이용하여 통계학적 방법으로 검정하였다.

각 대상지역의 암발생률을 간접표준화법을 이용하여 검정한 결과에서는 일관되지 않은 결과를 보였는데, 백혈병에서 F 지역, 뇌암에서 I 지역에서 유의한 발생률의 증가를 보였고 나머지 지역은 유의한 발생률의 증가를 나타내지 않았다. 또한 이에 비해 고농도 노출지역인 출력 500kw의 송신소가 위치한 A 지역의 경우는 대조지역에 비해 백혈병의 발생률이 오히려 유의하게 낮았다.

지금까지 알려진 연구결과로는 전자기장의 노출이 어떻게 암을 발생시키는지에 대한 정확한 기전은 알려져 있지 않으나 다음과 같은 여러 가지 가능성을 고려할 수 있다. 첫째로는 전자기장이 어떤 형식으로부터 직접 암을 유발할 가능성을 제기할 수 있으나, 현재까지 알려진 여러 동물 실험 및 인간을 대상으로 한 실험에서 볼 때 전자기장의 직접적인 돌연변이 유발효과는 불확실한 것으로 알려져 있다. 둘째로, 전자기장이 주변 환경에 일으키는 간접적인 영향에 의해 암이 유발될 가능성이 있다. 예를 들어 전자기장이 주변 환경에 존재하는 환경 발암물질의 분포를 변화시켜 결과적으로 암을 유발할 가능성도 있을 것이다. 그러나 이와 같은 인과관계가 있을 것이라는 가능성에 관해서는 아직까지 불분명하다. 셋째, 전자기장이 인체의 정상적인 생리학적 과정에 영향을 주어 간접적인 방법으로 암을 발생시킬 가능성이 있다. 그리고 네 번째 가능성은 전자기장과 암 발생간의 현재까지 알려진 관련성이 실제로는 제 3의 요인에 의해서 비롯어진 현상일 가능성이 있겠다. 이들 요인에 대해서는 아래에 더 자세하게

다루겠지만 이러한 요인들의 보정을 위해서는 보다 분석적인 연구가 필요하다.

앞서도 언급한 바와 같이 본 연구는 연구디자인 상 본질적으로 인과관계를 증명하기 위함이 아니며, 단지 차후의 보다 인과적인 관련성을 규명하는 데에 필요한 분석적 연구의 필요성과 그 근거를 얻기 위해 수행되는 예비적인 형태의 역학연구이다. 따라서 본 연구 결과를 곧바로 방송국 송신소 주변 주민의 건강영향에 대한 결론으로 끌어가는 데에는 다음과 같은 문제점이 있다. 첫째, 연구 대상의 선정과 관련한 선택 비뮌림의 문제점이다. 본 연구의 특성상 연구 대상 질환의 발생이 실제로 방송국 송신소 주변 지역에서 거주하고 있는 사람에서 발생된 경우에 한정되어야만 하는데 본 연구에서 사용한 주민등록증에 기재되어 있는 주소지는 실제 연구 대상자의 거주지와 차이가 있을 수 있다. 이러한 연구 대상자의 선정과 관련된 오류가 연구 결과에 미치는 영향에 대해서는 정확하게 예측하기는 힘들겠지만 노출지역과 대조지역에서 이러한 오류의 발생 비율이 거의 일정하다면 그 방향성이 관련성을 희석하는 쪽으로 향하겠으나 만약 일정하지 않고 두 지역 사이에 차이가 존재한다면 그 방향성을 예측하기가 힘들다.

둘째, 전자파에 대한 노출평가의 문제이다. 본 연구결과는 연구 대상자의 무선 주파수에 대한 노출유무를 방송국 송신소까지의 거리로 판정을 하였는데 주소지 자료의 한계 상 연구대상자 주소지의 동, 면 까지의 정보밖에 얻을 수 없어 실제 거주지와 방송국 송신소 사이의 정확한 거리를 알 수 없었다. 만약 질병 발생자에서의 실제 전자기장의 노출정도가 비발생자에서의 실제 전자기장의 노출 정도보다 낮다면 이 경우 질병 발생과 전자기장과의 관련성을 주장하기는 어렵다.

셋째, 연구 대상의 진단명의 정확도와 관련된 정보 비뮌림의 문제점이다. 본 연구에 사용한 의료보험 자료는 의학적인 목적이 아닌 의료보험 청구용으로 생산된 자료이기 때문에 그 진단의 정확성에 문제가 있을 수 있다. 의료보험 자료에

나와 있는 진단명의 정확도에 관해 몇몇 연구가 이루어졌으나 그 진단명의 정확도가 의료기관의 종류 (1차, 2차, 3차 의료기관), 질환의 종류 등에 따라 매우 다양하다고 알려져 있다. 만약 본 연구에서 이용한 서로 다른 여러 지역에서의 진단명의 정확도에 차이가 난다면 연구결과는 실제와 다르게 비뚤릴 수 있다.

넷째, 연구 결과가 노출 요인 이외의 제3의 요인에 의하여 비뚤릴 수 있는 교란 효과의 문제점이다. 본 연구와 같은 연구 목적 이외의 다른 용도로 생산된 자료원을 이용한 연구에서 이러한 교란 변수에 대한 정보가 불충분한 경우 교란 효과의 문제점이 발생할 수 있다. 예를 들어 뇌암이나 백혈병 등의 악성 종양의 경우 유전적인 요인 및 환경적 요인, 사회경제적 요인, 흡연 등의 다양한 요인이 관여하고 있는 것으로 알려지고 있는데, 이러한 여러 가지 제3의 교란요인의 영향을 통제하고 순수하게 노출요인인 전자기장에 의해 일어난 악성 종양을 추정하기 위해서는 각각의 연구 대상에서 이러한 위험 요인에 노출된 적이 있는지를 알아내야만 하는데 본 연구에서 이용한 자료원들에서는 이러한 교란변수에 대한 정보를 얻는 것은 불가능하다.

이러한 비뚤림의 문제 이외에도 본 연구의 연구 대상 질환과 같은 악성 종양 질환에서는 통계적 검정력의 문제(우연성의 문제)가 발생할 수 있다. 이들 질환은 일반 인구집단에서 매우 드물게 일어나는 질환으로 대개의 경우 인구 100,000명 당 몇 명 또는 몇 십 명 정도로 발생하게 된다. 현재 방송국 송신소 주변 지역들의 경우 대개 중, 소규모의 도시이거나 또는 면 단위의 농촌 지역으로서, 고농도 노출지역으로 선정된 지역의 경우 전체 인구를 합하여도 약 8만 명 정도이며 중등도 노출지역의 경우에도 56만 명 정도밖에 되지 않아 이와 같이 드문 질환의 발생에서 아주 적은 위험도의 상승을 통계적으로 유의한 방법으로 검정하기 위해서는 결국 관찰 기간을 늘리는 방법으로 연구에 필요한 적절한 연구대상수를 확보해야 하나, 본 연구의 경우 의료보험 자료 및 다른 연구 자료들의 접근성의 제한점

으로 인하여 1994년부터 1996년까지의 3년의 기간동안의 질병발생 건수로 한정을 할 수 밖에 없었다는 한계점이 있다.

위에서 언급한 선택 비뚤림, 정보 비뚤림, 교란 효과에 의한 영향을 배제하기 위해서는 발생한 질환에 대하여 의무기록열람을 통해 직접 질병의 진단명 및 발생원인, 대상자의 거주지역에 대한 정보를 얻고 가능한 경우 대상자 또는 가까운 가족과 직접 접촉하여 노출 요인 이외의 다른 제3의 변수에 대한 자료를 얻는 방법 등이 필요하다. 또한 전자파 노출에 대한 정확한 평가는 개별적인 측정이나 환경 측정 그리고 과거 방송국 송신 시간 및 출력 등에 관한 기록자료를 이용한 노출 평가 모델링 등의 방법을 동원하여야 할 것이다. 통계적 검정력 상의 제한점은 현시점에서 방송국 송신소의 수가 제한되어 있어 노출지역의 범위를 넓히는 것은 불가능하며 관찰 기간을 늘려서 충분한 대상 질환의 발생 수를 확보하는 것이 유일한 대안으로 생각된다. 향후에 이러한 것들은 보다 장기적이고 분석적인 역학 연구를 통해 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국전자통신연구원의 재정적인 지원 및 전자파환경연구팀과의 공동연구를 통해 수행된 것으로 이에 대해 감사 드립니다.

참고 문헌

- Dolk H et al. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain I. Sutton Coldfield Transmitter. *Am J Epidemiol* 1997;45:1-9.
- Dolk H et al. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain II. All high power transmitters. *Am J Epidemiol* 1997;145:10-17.
- Green LM, Miller AB, Agnew DA,

- Greenberg ML, Li J, Villeneuve PJ and Tibshirani R. Childhood leukemia and personal monitoring of residential exposures to electric and magnetic fields in Ontario, Canada. *Cancer Causes and Control* 1999;10:233-243.
- Hii AB. The environment and disease; association or causation? *Proceedings of the Royal Society of Medicine* 1965; 58:295-300.
- Hill DA et al. Longitudinal study of a cohort with past exposure to radar: the MIT Radiation Laboratory follow-up study [dissertation], University of Michigan Dissertation Service, Ann Arbor, Michigan, 1988.
- Hocking B et al. Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med J Austral* 1996;165:601-605.
- Milham S. Increased mortality in amateur radio operators due to lymphatic and hematopoietic malignancies. *Am J Epidemiol* 1988;127:50-54.
- Morgan RW, Kelsh MA et al. Radio-frequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Epidemiol* 2000;11:118-127.
- Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. Residence near high-voltage facilities and the risk of cancer in children. *BMJ* 1993;307:891-895.
- Szmigielski S. Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high-frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation. *Sci Total Environ* 1996;180:9-17.

저자 소개



河美那

1963년 12월 16일생, 1992년 2월 서울대학교 의과대학 의학과 의학사, 1996년 2월 서울대학교 보건대학원 환경보건학과 보건학석사, 2000년 2월 서울대학교 대학원 예방의학 전공 의학박사, 1992년 3월~1993년 2월: 서울대학교병원 인턴, 1993년 3월~1996년 2월: 서울대학교 의과대학 전공의(예방의학), 1996년 3월~1998년 4월: 단국대학교 의과대학 전임강사, 1998년 4월~현재: 단국대학교 의과대학 조교수, <주관심 분야: 환경의학, 산업의학, 역학>