

# 신경망을 이용한 휴대전화에 의한 RF 노출 평가 모델의 개발

## Development of a Model to Evaluate RF Exposure Level from Cellular Phone using a Neural Network

김수찬 · 남기창\* · 안선희\* · 김덕원\*

Soo-Chan Kim · Ki-Chang Nam\* · Seon-Hui Ahn\* · Deok-Won Kim\*

### 요 약

이동통신 가입자가 증가함으로 인하여 휴대전화로부터 유발되는 전자파 노출 유해성 여부에 대한 논란이 끊임없이 제기되면서 이와 관련한 연구가 국제적으로 활발하게 이루어지고 있다. 휴대전화 사용에 관한 정보로 사용자 본인이 정량적인 전자파 노출량을 직접 알 수 있다면 매우 이상적인 것이다. 그러나 인체에 노출되는 전자파의 양을 직접적으로 측정하는 것은 매우 어렵기 때문에 정확한 노출량을 아는 것은 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 국내외에서 선행된 연구 결과 및 쉽게 알 수 있는 휴대전화의 모델에 관한 간단한 정보, 사용 경향을 이용하여 개인의 휴대전화 전자파의 노출 정도를 제시해 보고자 한다. 휴대전화 사용에 따른 노출 정도를 제시하기 위하여 1일 평균 통화시간, 총 사용기간에 관한 정보와 선행된 연구 결과들을 기반으로 휴대전화 사용시 이격거리와 기울기, 핸즈프리와 안테나의 사용 여부, 휴대전화의 SAR(Specific Absorption Rate), 플립 혹은 폴더형인지 등에 관한 인자들을 이용하였다. 이 인자들을 신경망 회로를 이용하여 노출 정도를 간접적으로 평가하여 사용자에게 제시해 보고자 하였다.

### Abstract

The wide and growing use of cellular phones has raised the question about the possible health risks associated with radio-frequency electromagnetic fields. It would be helpful for phone users to know the exposure levels during cellular phone use. But it is very difficult to recognize the amount of exposure, because measuring accurate level of RF is a difficult matter. In this study, we developed a model to estimate the exposure level and the individual risk of exposure by utilizing the available informations that we can get. We used such parameters as usage time a day, total using period, distance between cellular phone and head, slope of cellular phone, hands-free usage, antenna pulled out or not, SAR(Specific Absorption Rate) of cellular phone, and flip or folder type. We proposed a model presenting individual risk of RF exposure from level 0 to 10 by using a neural network.

Key words : Cellular Phone, Exposure Level, Risk, Neural Network, Model

### I. 서 론

정보통신부에서 공개된 2003년 7월 당시 휴대전화의 가입자 수는 33,157,493명이다<sup>[1]</sup>. 이처럼 휴대

전화의 가입자가 늘어나고 휴대 전화로부터 노출되는 전자파의 유해성 여부에 대한 논란이 끊임없이 제기되면서 이와 관련한 역학조사, 생체 실험, 그리고 패턴을 이용한 노출량 측정 등의 연구가 국제적

「본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업 휴대형 진단치료기기 개발센터의 지원에 의해 이루어진 것임(과제고유번호: 0405-ER01-0304-0001).」

한경대학교 생물정보통신전문대학원(Graduate School of Bio & Information Technology, Hankyong National University)

\*연세대학교 의과대학 의학공학교실(Department of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University)

· 논 문 번 호 : 20040720-092

· 수정완료일자 : 2004년 9월 7일

으로 활발하게 이루어지고 있다.

역학 조사는 전자파의 인체 유해 여부를 판단하는 중요한 연구 분야로서, 만약 서로 다른 지역, 다른 인종에 대한 역학 연구에 대하여 동일한 결과를 보인다면, 역학적 결론이 도출될 수 있을 것이다. 그러나 휴대전화의 전자파 노출에 의한 암 발생과 같이 그 수가 상대적으로 드물고 발병 시까지 잠복성이 존재하며 아직 명확하게 밝혀지지 않은 발병 원인 등으로 인해 역학 연구를 수행하는 것은 그리 쉽지가 않다. 그 이유는 수천, 수십만 명의 피험자를 대상으로 장기간의 연구가 수행되어야 하므로 막대한 비용과 계속적인 데이터 획득이 어렵고, 전자파에 노출된 사람에 대한 정확한 노출량의 측정이 매우 힘들기 때문이다. 그러나 휴대전화 사용 시간에 따른 건강의 추이에 대한 장기간의 넓고 다양한 표본 역학 조사가 요구되고 있다. 역학 조사는 실제 휴대전화에서 방출되는 전자파뿐만 아니라 그로 인해 인체에 미치는 직접적인 영향에 관한 가장 현실적이고, 정확한 방법이기 때문에 현재에도 각국에서 연구가 진행되고 있다<sup>[2]-[6]</sup>. 그 결과 뇌 암 발생과의 관련 여부 등에 대한 다양한 연구결과가 발표되었으며, 휴대전화의 사용에 의한 장기적인 유해에 대해서는 연구가 더 필요한 실정이다.

일부 선행된 연구에서 휴대전화 사용이 뇌 암 발생과 관련이 있다고 보고하였으며<sup>[7]</sup>, 선진국에서도 장시간의 통화를 규제하는 방향으로 권장하고 있다. 이와 같이 휴대전화 사용과 관련하여 사용자에게 본인인 휴대전화의 사용으로 인해 전자파에 얼마나 노출되는지 알려줄 수 있다면 가장 이상적일 것이다. 그러나 인체에 직접적으로 노출되는 휴대전화의 전자파의 양을 측정하기가 어렵기 때문에 인체와 유사한 형태와 구성을 하고 있는 팬텀을 이용하여 노출량을 간접적으로 측정하고 있다. 이와 같이 휴대전화 노출 평가 자체가 사람보다는 팬텀을 이용하여 이루어지기 때문에 사용자의 정확한 노출량을 아는 것은 쉽지 않다. 따라서 객관적으로 도출된 연구 결과를 바탕으로 사용자가 쉽게 알 수 있는 정보를 이용하여 휴대전화의 사용 패턴에 따른 개개인의 상대적 노출 정도를 제시해 주는 것은 새로운 제안이 아닐 수 없다.

사용자의 노출 정도를 제시하기 위하여 선행된

연구 결과를 바탕으로 휴대전화의 1일 평균 통화시간, 총 사용기간(년), 휴대전화와의 이격거리, 휴대전화 사용 시 기울기, 핸드프리 사용 여부, 안테나의 사용 여부, 휴대전화의 SAR, 휴대전화의 종류(플립 혹은 폴더형)에 관한 인자에 가중치를 부여하였다. 이 가중치를 이용하여 최종적으로 신경망을 통해 상대적 노출 정도를 간접적으로 평가하여 휴대전화 사용자에게 제시해 보고자 하였다.

## II. 본 론

### 2.1 휴대전화 사용시 인체에 영향을 미치는 인자에 관한 조사

휴대전화의 출력과 관련되어 사용자에게 직접적인 영향을 나타내는 SAR을 정확하게 측정하는 것은 거의 불가능하며, 현재까지 연구 결과에서와 같이 휴대전화에서 방출되는 전자파의 노출이 뇌 암을 유발시킨다고 보기도 어렵다<sup>[8]-[21]</sup>. 그러나 노출량은 적은 사람들과 비교하여 상대적으로 그 위험도는 높다고 볼 수 있는데 실제로 휴대폰 사용방향의 측두부, 후두부 뇌암이 관련되었다는 연구가 있었으며<sup>[7]</sup>, Hocking과 Chia 등은 휴대폰 사용과 두통 등의 증상 유병률 간에 관련성이 있음을 보고하였다<sup>[22,23]</sup>. 그럼에도 불구하고 많은 연구 결과들에서 휴대전화가 인체의 뇌 암과 완전히 무관하다는 결론을 내리지 못하는 이유는 현재까지의 임상 데이터가 충분하지 않을 뿐만 아니라 노출량의 정확한 측정이 현재의 기술로는 어렵기 때문이다.

본 연구에서는 휴대전화 사용경향과 기기의 종류에 따라 전자파 노출량의 차이가 있는 것을 이용하여 전자파의 상대적 노출 정도를 휴대전화의 종류, 사용 경향 등을 고려하여 정량적으로 추정해 보고자 하였다. 고려할 인자를 선택함에 있어서 일반인들이 쉽게 알 수 있는 휴대전화 사용 경향(1일 평균 통화시간, 총 사용기간, 이격거리, 기울기, 핸드프리 사용 여부, 안테나 사용 여부), 휴대전화 모델(종류: 플립, 폴더), 모델에 따른 휴대전화의 SAR 등 정보를 기준으로 하였다.

본 연구에서 전자파의 노출 정도 평가를 위해 사용할 휴대전화 사용 경향 및 모델에 대한 인자들은 표 1과 같으며 각 인자들에 대하여 선행된 연구 결

표 1. 전자파의 노출 정도 평가에 사용된 인자  
Table 1. Parameters used to evaluate RF exposure level.

구분	전자파 노출에 영향을 주는 인자
휴대전화 사용 경향	- 1일 평균 통화시간 - 총 사용기간 - 휴대전화와의 이격거리 - 휴대전화의 기울기 - 핸드프리 사용 여부 - 안테나 사용 여부
휴대전화 모델	- 휴대전화의 SAR - 종류(플립, 폴더 형태)

과를 살펴보면 표 1과 같다.

- ① 1일 평균 통화시간과 총 사용기간 : 동일한 노출에 있어서 1일 사용시간에 따라 노출되는 양이 달라지며, 이것은 많은 역학 연구에서 관심을 갖는 중요 인자 중에 하나이다. 그러므로 본 연구에서는 사용시간과 기간에 대하여 가중치를 부여하여 노출 평가에 반영하였다.
- ② 휴대전화와 두부와의 이격거리 : 두부모델과 휴대전화와의 거리에 따른 SAR 분석 결과 거리가 멀수록 두부에서의 SAR이 감소함을 보였다<sup>[27]</sup>.
- ③ 휴대전화 사용 시 기울기 : 두부모델과 휴대전화와의 각도에 따른 SAR 분석 결과 두부의 수직 방향과 안테나와의 각도를 0°로 가정했을 경우, 180°일 때 가장 큰 SAR을 보였으며, 30°일 때 가장 작은 SAR을 보였다<sup>[27]</sup>. 실제 통화 시 휴대전화를 90°이상 위치하는 경우는 없기 때문에, 0°를 기준으로 30°, 60°, 90° 일 때의 상대적인 SAR을 참조하였다.
- ④ 핸드프리 사용 여부 : 대부분 기존의 연구들에서는 hand-held type의 휴대전화에서만 수행되었다. 그러나 핸드프리를 사용할 경우에는 휴대전화에 의한 노출 정도는 크게 감소하였다<sup>[24]</sup>.
- ⑤ 외부 안테나 사용 여부 : 휴대전화의 RF 에너지가 주로 방사되는 곳이 안테나이므로 머리와 안테나에 가까울수록 RF에 노출되는 에너지량은 증가한다. 모토롤라 연구원들은 플립형의 경우 안테나를 접었을 때는, 안테나가 전화기에 포함되므로 완전히 펼쳤을 때보다 대략 두 배 높은 SAR을 나타낸다고 하였다<sup>[25]</sup>.

- ⑥ 휴대전화의 SAR : 전자파흡수율로 생체가 전기장에 노출됨에 따라 생체에 흡수되는 단위질량당의 흡수 전력이다. 식 (1)에서와 같이 생체조직에서 SAR은 조직 내에 전기장 강도의 제곱에 비례하며, 입사 전자기장의 주파수, 강도, 전기장의 방향 및 발생원과 대상물체의 상대적인 위치, 노출된 인체의 특성 조직의 유전적 성질 그리고 지면의 영향 및 노출 환경 등에 의해 결정된다<sup>[26]</sup>.

$$SAR = \frac{1}{2} \frac{\sigma}{\rho} |E_i|^2 \quad (1)$$

$\sigma$  : 인체 팬텀의 도전율,

$\rho$  : 밀도,

$|E_i|$  : 국부 전기장 벡터의 첨두치 크기

- ⑦ 사용 휴대전화 종류 : 전형적인 통화자세에서 폴더 형태가 플립 형태보다 두부에서의 SAR이 더 작다<sup>[27]</sup>.

## 2-2 신경망 모델의 구성

본 연구에서 설정하고자 하는 모델은 그림 1과 같은 multi-layer perceptron 모델이다. 이 모델은 입력층과 출력층 사이에 하나 이상의 은닉층(hidden layer)이 존재하는 신경망으로 각 층 내의 연결과 출력층에서 입력층으로 직접적인 연결이 존재하지 않는 전방향(feedforward) 네트워크이다. 입력 노드는 휴대전화 사용경향에 의해 결정되어지는 인자들이고, 은닉층은 안정적으로 수렴하는 결과가 나오도록 학습이

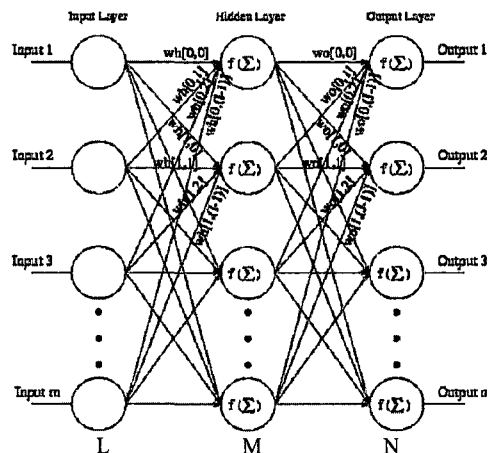


그림 1. 제안하는 신경망 모델 구조  
Fig. 1. A structure of the neural network.

표 2. 전자파 위험도 산출에 사용되는 각 인자의 가중치  
Table 2. Weight of each parameter to evaluate risk of RF exposure.

1일 평균 통화시간		총 사용기간		이격거리 <sup>[27]</sup>		휴대전화의 기울기 <sup>[27]</sup>	
구 분	가중치	구 분	가중치	구 분	가중치	구 분	가중치
2.0 시간	1.0	7년	1.0	0 cm	1.0	0 °	1.0
1.5 시간	0.9	5년	0.9	1 cm	0.8	30 °	0.7
1.0 시간	0.8	3년	0.8	2 cm	0.5	60 °	0.9
0.5 시간	0.7	1년	0.7	3 cm	0.2	90 °	0.8
핸즈프리 <sup>[24]</sup>		안테나 <sup>[25]</sup>		휴대전화의 SAR <sup>[26]</sup>		종류 <sup>[27]</sup>	
구 분	가중치	구 분	가중치	구 분	가중치	구 분	가중치
사용 안함	1.0	뽑지 않고 사용	1.0	1.6 W/kg	1.0	플립(flip)	1.0
				1.4 W/kg	0.9		
사용함	0.1	뽑고 사용	0.5	1.2 W/kg	0.8	폴더(folder)	0.6
				1.0 W/kg	0.7		

이루어졌으며 출력 노드는 노출 정도를 0에서 10 사이에 해당되는 출력을 나타낸다. 노출 정도는 신경망 회로를 통해 정해진 각 인자간의 가중치를 사용하여 식 (2)와 같은 방법에 의해서 산출된다. 신경망을 학습시키는 방법으로는 지도학습(supervised)과 자율학습(unsupervised)이 있는데, 본 연구에서는 전자파에 대한 노출 정도의 객관화를 위해 선행 연구들에서 수행된 연구 결과를 이용하여 신경망을 학습시킬 수 있는 지도학습 방법을 선택하였다.

$$\text{노출 정도} = f(W * p + b) \quad (2)$$

- W : 신경망 학습으로 얻어진 가중치
- p : 입력 (SAR 노출에 영향을 주는 인자들, 1~R개)
- b : 입력 bias

신경망 학습을 수행하기에 앞서 정리된 인자의 입력에 대한 예상 출력을 정의해야 한다. 노출 정도가 가장 높은 경우는 휴대전화 사용 시 두부에서의 SAR이 최대로 될 때를 10으로 하였다. 그러나 노출 정도가 10이라고 하여 반드시 암에 걸리는 확률이 높다는 것이 아니다. 표 2는 신경망 학습을 위해 기존의 연구 결과들을 기초로 하여 작성한 각 인자에 대한 가중치(weight)이다.

적용하고자 하는 인자의 모든 경우의 수를 고려하여 총 8,192(1일 평균 통화시간 : 4, 총 사용기간 : 4, 핸드프리 사용 여부 : 2, 안테나 : 2, 휴대전화와의 이격거리 : 4, 휴대전화 사용시 기울기 : 4, 휴대전화

의 SAR : 4, 종류 : 2)개의 경우의 수가 발생한다. 모든 경우의 수를 조합하여 학습 데이터(training set)를 만들었다. 표 2의 8개의 인자가 신경망의 입력층(input layer)으로 입력되고, 결정 함수(decision function)는 시그모이드(sigmoid) 함수를 이용하였다. 출력층(output layer)은 노출 정도를 0에서 10사이로 나타내기 위하여 선형 결정 함수를 사용하였다.

표 3은 앞서 언급한 바와 같이 가중치에 따른 총 8,192개 경우의 일부로서 아래와 같은 데이터를 이용하여 신경망을 학습시켰다. 이 때 표 2의 각 인자에 해당하는 대표 값에 가중치를 부여하여 노출 정도를 계산한 것으로 신경망 모델의 훈련에 반영된다. 예를 들어 표 2에서 각 인자의 가중치가 최대가 되는 경우 노출 정도가 10이 되며, 각 인자의 설정된 가중치 변화에 따라 산술적으로 노출 정도를 계산하였다. 표 3의 첫 번째 경우, 최대 값 10에 휴대전화 기울기 30°(가중치 0.7), 핸드프리 사용(가중치 0.1) 안테나 사용(가중치 0.5)을 적용하여 노출 정도는 0.35가 된다. 이러한 산술 조합에서 최상의 조건과 최악의 조건일 경우 각각 0.02와 10.0으로 노출 정도가 계산되었다. 설정된 인자와 가중치는 새로운 연구 결과에 의해 수정되어질 수 있으며, 신경망 모델에서의 훈련 후에 다시 각 인자간의 가중치가 정해지게 된다.

### III. 결 과

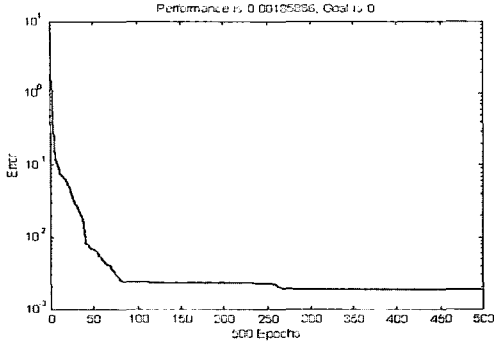


그림 2. 신경망 회로의 학습결과로 인한 오차 수렴  
Fig. 2. Convergence of error by neural network training.

그림 2는 신경망 회로를 이용하여 500회 학습을 수행한 결과이다. 신경망 회로의 구현은 학습 속도가 가장 빠른 Levenberg-Marquardt algorithm을 MATLAB 6.5를 이용하여 구현하였다. 학습을 75회 수행한 후부터 오차가 거의 0으로 수렴하는 것을 확인하였다. 펜티엄 4(2.0 GHz, 512 MB)에서 학습 수행 시 소요되는 시간은 75회 때 1분 44초, 200회 때 4분 32초, 500회 때 11분 18초였다.

표 3의 가장 우측 열은 학습에 사용된 입력을 신경망에 적용하였을 때 산출된 노출 정도를 구한 결

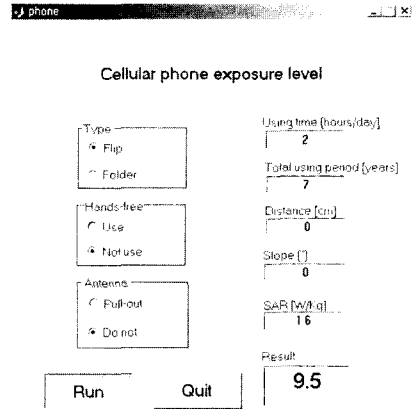


그림 3. 최악의 경우에 계산된 노출 정도  
Fig. 3. Exposure level for the worst case.

과이다. 그림 3은 제안한 신경망 모델의 입력으로 최악 경우를 입력하였을 때 도출된 결과이다. 즉, 가중치가 가장 높은 인자들로 조합하여 노출 정도가 10.0이 나올 것으로 예상되는 최악의 경우가 실제로 신경망을 이용하여 학습이 이루어진 결과 9.5가 됨을 알 수 있다. 그 밖의 결과에서도 본 연구에서 제안한 신경망을 이용한 모델링 방법이 어느 정도 타당한가를 확인할 수 있다.

표 3. 신경망 모델에서 사용한 학습 데이터와 신경망에 의한 노출 정도의 결과

Table 3. Examples of training data for the neural network and exposure level determined by neural network.

1일 평균 통화시간 (시간)	총 사용기간 (년)	이격거리 (cm)	휴대전화 기울기 (°)	핸즈프리	안테나	휴대전화의 SAR (W/kg)	종류	노출 정도	신경망에 의한 노출 정도
2.0	7	0	30	O	O	1.6	플립	0.35	0.3
2.0	7	0	30	O	X	1.6	플립	0.70	0.7
2.0	7	0	30	X	O	1.6	플립	3.50	3.4
2.0	7	0	30	X	X	1.6	플립	7.00	6.8
2.0	7	2	30	X	X	1.6	플립	3.50	3.4
2.0	1	0	30	X	X	1.6	플립	4.90	4.8
2.0	1	2	30	X	X	1.6	플립	2.45	2.4
0.5	7	0	30	X	X	1.6	플립	4.90	4.8
0.5	7	2	30	X	X	1.6	플립	2.45	2.4
0.5	1	0	30	X	X	1.6	플립	3.43	3.3
0.5	1	2	30	X	X	1.6	플립	1.72	1.7
2.0	7	0	0	X	X	1.6	플립	10.0	9.5
0.5	1	3	30	O	O	1.0	폴더	0.02	0.0

표 4. 임의의 입력에 의한 신경망으로 산출된 노출 정도의 결과  
Table 4. Exposure level from random input determined by neural network.

	1일 평균 통화시간 (시간)	총 사용기간 (년)	이격거리 (cm)	휴대전화 기울기(°)	핸즈프리	안테나	휴대전화의 SAR (W/kg)	종류	신경망에 의한 노출 정도
1	2.0	7	0	0	X	X	2.0	플립	10.0
2	2.0	7	0	30	X	X	2.0	플립	8.9
3	2.0	7	0	30	X	X	2.0	폴더	5.6
4	2.0	7	0	30	X	X	1.6	폴더	4.3
5	1.7	7	0	30	X	X	1.6	폴더	4.0
6	1.7	4	0	30	X	X	1.6	폴더	3.4
7	0.8	7	0	30	X	X	1.6	폴더	3.3
8	0.8	4	0	30	X	X	1.6	폴더	2.7
9	0.8	0.5	0	30	X	X	1.6	폴더	2.2
10	2.0	7	0	30	X	O	1.6	폴더	2.1
11	0.1	0.5	0	30	X	X	1.6	폴더	1.9
12	1.7	4	0	30	X	O	1.6	폴더	1.7
13	0.8	4	0	30	X	O	1.6	폴더	1.3
14	0.8	0.5	0	30	X	O	1.6	폴더	1.1
15	0.1	0.5	0	30	X	O	1.6	폴더	0.9
16	0.1	0.5	0	30	O	O	1.6	폴더	0.1

또한, 신경망 모델을 이용하여 학습하지 않은 임의의 각 인자를 입력으로 하여 그에 따른 노출 정도를 산출할 수 있다. 표 4는 학습에 사용되지 않은 임의의 입력으로 노출 정도를 신경망에 의해 산출한 결과이다. 학습에 사용된 최악의 경우는 노출 정도가 9.5로 나왔으나, 1번 데이터에서와 같이 SAR을 2.0 W/kg(일본과 유럽의 제한 기준)으로 증가시켰더니 노출 정도가 10으로 증가하였다. 또한 1번의 경우에서 2번과 같이 휴대전화의 각도 변화에 의해 노출 정도가 감소하며, 플립형에서 폴더형으로 노출 정도가 훨씬 더 감소하였다. 같은 조건에 대해서 1일 평균 통화시간, 총 사용기간, SAR이 감소하면 노출 정도가 감소되는 결과를 확인할 수 있다.

#### IV. 고찰 및 결론

휴대전화가 인체에 위험한가에 관한 연구는 미국의 FDA(Food and Drug Administration), CTIA(Cellular Telecommunications Industry Association) 등과 같은 여러 곳에서 계속적으로 진행되고 있으나 디지털 휴

대전화는 근래에 널리 보급되었기 때문에 이에 대한 장기간의 연구 결과가 축적되어야만 정확한 결론을 내릴 수 있을 것으로 사료된다. 또한 휴대전화가 인체에 유해하다고 결론이 나더라도 그 사용을 막지 못할 것이므로 전자파 출력을 줄이거나 안전을 위한 연구는 계속되어야 할 것이다.

이러한 추세 속에서 본 연구는 휴대전화 사용 경향, 사용 모델 등과 같이 전자파 노출량과 직접적으로 관계가 있다고 고려되는 인자를 이용하여 노출량에 따른 노출 정도를 예측할 수 있는 모델을 제안하여 휴대전화 사용 시 전자파 노출에 대한 정량화된 정보를 제시하고자 하였다.

최근까지의 연구 결과를 바탕으로 휴대전화 사용 경향(1일 평균 통화시간, 총 사용기간, 핸드프리 사용 여부, 안테나의 사용 여부, 휴대전화와의 이격거리, 기울기), 사용 모델(플립, 폴더 형태)에 따라 전자파에 노출되는 정도를 신경망을 이용하여 모델링 하였다. 산출된 휴대전화의 전자파 노출 정도는 피상적인 노출 정도를 수치적으로 보여준다는데 의의가 있다고 할 수 있다. 이러한 노출 정도에 대한 모델은

휴대전화 역학 연구에서 환자군과 정상군의 노출량과 뇌암과의 관련성을 조사하는데 정량적인 노출량을 제공할 수 있다는데 큰 의의가 있다 하겠다.

### 참 고 문 헌

- [1] <http://www.mic.go.kr>, 정보통신부 홈페이지, 2003년 7월 유·무선 통신서비스 가입자 현황.
- [2] A. Cook, A. Woodward, N. Pearce and C. Marshall, "Cellular telephone use and time trends for brain, head and neck tumours", *N Z Med J*, vol. 116, no. 1175, pp. 457, 2003.
- [3] H. G. Warren, A. A. Prevatt, K. A. Daly and P. J. Antonelli, "Cellular telephone use and risk of intratemporal facial nerve tumor", *Laryngoscope*, vol. 113, no. 4, pp. 663-667, 2003.
- [4] G. Bit-Babik, C. K. Chou, A. Faraone, A. Gessner, M. Kanda and Q. Balzano, "Estimation of the SAR in the human head and body due to radiofrequency radiation exposure from handheld mobile phones with hands-free accessories", *Radiat Res*, vol. 159, no. 4, pp. 550-557, 2003.
- [5] K. A. Hossmann, D. M. Hermann, "Effects of electromagnetic radiation of mobile phones on the central nervous system", *Bioelectromagnetics*, vol. 24, no. 1, pp. 49-62, 2003.
- [6] "Human exposure to microwaves and other radio frequency electromagnetic fields", *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 14, no. 3, pp. 336-337, 1995.
- [7] L. Hardell, A. Nasman, A. Pahlson and A. Hallquist, "Case-control study on radiology work, medical X-ray investigations, and use of cellular telephones as risk factors for brain tumors", *Medgenmed*, vol. 2, no. 2, E2, 2000.
- [8] R. Santini, "Cellular telephones and their relay stations: a health risk?", *Presse Med*, vol. 28, no. 34, pp. 1884-1986, 1999.
- [9] J. E. Muscat, M. G. Malkin, S. Thompson, R. E. Shore, S. D. Stellman, D. McRee, A. I. Neugut and E. L. Wynder, "Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer", *Jama*, vol. 284, no. 23, pp. 3001-3007, 2000.
- [10] P. Bartunek, "Health risks of mobile phones", *Cas Lek Cesk*, vol. 140, no. 14, pp. 439-442, 2001.
- [11] M. Erman, I. Celik and A. Kars, "Cellular telephones and brain tumors", *N Engl J Med*, vol. 344, no. 17, pp. 1331, 2001.
- [12] A. H. Frey, "Cellular telephones and brain cancer: current research", *Environ Health Perspect*, vol. 109, no. 5, pp. A200, 2001.
- [13] L. Hardell, K. H. Mild, "Handheld cellular telephones and brain cancer risk", *Jama*, vol. 285, no. 14, pp. 1838, 2001.
- [14] P. D. Inskip, R. E. Tarone, E. E. Hatch, T. C. Wilcosky, W. R. Shapiro, R. G. Selker, H. A. Fine, P. M. Black, J. S. Loeffler and M. S. Linet, "Cellular-telephone use and brain tumors", *N Engl J Med*, vol. 344, no. 2, pp. 79-86, 2001.
- [15] R. C. Kane, "Cellular telephones and brain tumors", *N Engl J Med*, vol. 344, no. 17, pp. 1332, 2001.
- [16] R. C. Kane, "Handheld cellular telephones and brain cancer risk", *Jama*, vol. 285, no. 14, pp. 1838-1839, 2001.
- [17] M. Kundi, "Cellular telephones and brain tumors", *N Engl J Med*, vol. 344, no. 17, pp. 1331-1332, 2001.
- [18] R. Park, "Cellular telephones and cancer: how should science respond?", *J Nat'l Cancer Inst*, vol. 93, no. 3, pp. 166-167, 2001.
- [19] D. Trichopoulos, H. O. Adami, "Cellular telephones and brain tumors", *N Engl J Med*, vol. 344, no. 2, pp. 133-134, 2001.
- [20] S. M. Zimmerman, R. W. Zimmerman, "Handheld cellular telephones and brain cancer risk", *Jama*, vol. 285, no. 14, pp. 1838-1839, 2001.
- [21] J. E. Muscat, M. G. Malkin, R. E. Shore, S. Thompson, A. I. Neugut, S. D. Stellman and J. Bruce, "Handheld cellular telephones and risk of acoustic neuroma", *Neurology*, vol. 58, no. 8, pp. 1304-1306, 2002.

[22] B. Hocking, "Preliminary report: symptoms associated with mobile phone use", *Occupational Medicine*, vol. 48, no. 6, pp. 357-360, 1998.

[23] S. E. Chia, H. P. Chia and J. S. Tan, "Prevalence of headache among handheld cellular telephone users in Singapore: A community study", *Environ. Health Perspect*, vol. 108, no. 11, pp. 1059-1062, 2000.

[24] <http://www.cancer.gov> (National Cancer Institute

homepage), "Cellular telephone use and cancer".

[25] 김남, "휴대폰 단말기 관련 국제규격 연구 동향", *전자파기술*, 8(2), pp. 12-21, 1997.

[26] 최형도, 이애경, 조광윤, "이동통신단말기의 전자파 노출량 평가", *전자파기술*, 10(4), pp. 41-54, 1992.

[27] 정민석, 이범선, "이동통신단말기 SAR 저감 방안 분석", *한국전자파학회 논문지*, 13(2), pp. 155-163, 2002.

김 수 찬



1994년 2월: 인제대학교 의용공학과 (공학사)  
 1998년 2월: 연세대학교 생체공학협동과정 (공학석사)  
 2003년 2월: 연세대학교 생체공학협동과정 (공학박사)  
 2003년 12월~2004년 9월: Rensselaer Polytechnic Institute (Post Doc.)

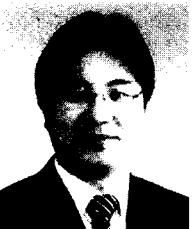
2004년 9월~현재: 한경대학교 생물정보통신대학원 [주 관심분야] 생체신호계측, 안구운동측정, 실시간 신호처리 등

안 선 희



2002년 2월: 건국대학교 의학공학과 (공학사)  
 2004년 8월: 연세대학교 생체공학협동과정 (공학석사)  
 2004년 8월~현재: 삼성전자 연구원 [주 관심분야] 생체신호계측 등

남 기 창



1997년 2월: 연세대학교 의용전자공학과 (공학사)  
 1999년 2월: 연세대학교 생체공학협동과정 (공학석사)  
 2004년 2월: 연세대학교 생체공학협동과정 (공학박사)  
 2004년 3월~현재: 연세대학교 의과대학 의학공학교실 연구강사

[주 관심분야] 생체신호계측, 음성신호처리 등

김 덕 원\*



1976년: 서울대학교 공과대학 (공학사)  
 1980년: 미국 Northwestern University 전자공학과 (공학석사)  
 1986년: 미국 Univ. of Texas at Austin 의공학과정 (Ph.D.)  
 1987년~현재: 연세대학교 의과대학 의학공학교실 교수

1999년~현재: 연세대학교 의과대학 의학공학교실 주임교수  
 2003년~현재: 연세대학교 대학원 생체공학협동과정 주임교수  
 [주 관심분야] 비관혈적 생체계측, 의료기기, 전자파 유해성 등

\*교신저자