

종양 조직의 유전율 특성

The Dielectric Properties of Cancerous Tissues

유돈식 · 김봉석* · 최형도 · 이애경 · 백정기*

Done-Sik Yoo · Bong-Seok Kim* · Hyung-Do Choi · Ae-Kyoung Lee · Jeong-Ki Park*

요 약

본 논문에서는 병리학적 생체조직을 생체 이종이식(異種移植, Xenograft) 방법으로 배양하여 생체조직의 전자기적 특성을 분석하였다. 다 사람 암 조직을 측정하기 직전에 살아있는 누드 마우스에서 적출하여 측정에 사용하였기 때문에 측정에 사용된 종양이 살아있는 조직과 거의 유사한 상태를 유지할 수 있었다. 신선한 사람의 종양 조직을 사용하여 측정된 본 논문의 결과는 높은 신뢰성을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 뇌종양, 대장암, 위암, 유방암 등 4종의 암 조직의 유전율 값을 45 MHz ~ 5 GHz대역에서 측정하였다. 유전율 측정을 위해 모두 58개의 이종이식방법으로 배양된 암 조직이 사용되었다. 측정값을 비교, 분석하였을 때 암 조직들은 종류에 관계없이 거의 유사한 유전율 값을 나타내는 것을 볼 수 있었다. 암 조직의 유전율 값을 정상조직의 유전율 값과 비교해 본 결과, 위암 조직을 제외하고는 암 조직의 유전율 값이 뇌종양, 대장암, 유방암 조직 모두에서 정상조직에 비해 측정 주파수 대역에서 높은 값을 가졌다.

Abstract

In this paper, dielectric characteristics of pathological tissues cultivated using the xenograft method were analyzed. Since cancerous tissues were extracted from the nude mouse just before the measurements, they were maintained as fresh as living tissues in the measurements. This would be one of the advantages to get more accurate and reliable results. Dielectric properties of four cancerous tissues such as brain cancer, breast cancer, colon cancer and gastric carcinoma were measured in the frequency range between 45 MHz and 5 GHz. For the measurement of the dielectric properties, 58 xenografted samples were used. It was found that all of the cancerous tissues had the similar dielectric constant values. Comparing with the normal tissues, dielectric constant values of brain cancer, breast cancer and colon cancer were higher than those of the normal tissues except gastric carcinoma in the frequency range.

Key words : Permittivity, Brain Cancer, Breast Cancer, Colon Cancer, Gastric Carcinoma, Xenograft

I. 서 론

생체조직에 대한 전기적 특성에 대한 측정 및 분석에 대한 연구는 많은 연구자들에 의해 세계적으로 광범위하게 이루어져 왔다^{[1]-[8]}. 정상조직의 전기적 특성에 대한 자료는 낮은 주파수에서 높은 주

파수에 이르기까지 잘 정리되어 있다. 생체조직의 전기적 특성은 기본적으로 세포막의 변화와 조직의 화학조성에 의해 결정된다. 주파수에 따른 생체조직의 전기적 특성은 α , β , γ 분산이라고 알려진 세가지 영역으로 나눌 수 있다. 낮은 주파수 영역의 α 분산은 세포막에서의 이온 확산과 관련이 있다. 또

한국전자통신연구원 무선방송연구소 전파기반연구부 전자파환경연구팀(Radio and Broadcasting Laboratory, ETRI)

*충남대학교 전파공학과(Dept. of Radio Sciences and Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20020315-029

· 수정완료일자 : 2002년 4월 18일

한 수백 kHz 영역에 해당하는 β 분산은 주로 유기 고분자와 세포막의 분극(Polarization)때문에 일어난다. 마지막으로 GHz 영역의 γ 분산은 체액의 분자 분극때문에 일어난다.

첨단 진단장비인 자기공명영상장치(Magnetic Resonance Imaging, MRI)나 컴퓨터단층촬영장치(Computed Tomography, CT)에서 얻은 인체의 3차원 디지털 영상을 활용하여 전자기장 노출량의 수치해석을 하려는 시도가 최근 이루어지고 있고 성공적인 결과들이 보고되고 있다^{[9]-[14]}. 디지털 영상처리기술을 활용하여 인체 조직을 상세히 분류할 수 있게 되었지만 분할된 생체조직의 정밀한 전기적 특성에 관한 정보가 없다면 첨단장비를 활용하여 얻은 막대한 양의 고급 정보도 인체 조직에 미치는 전자기장의 영향을 정확하게 예측하는 데 활용할 수 없게 된다. 이렇듯 보다 정밀한 전자기장 노출량의 해석 및 예측을 위해서는 생체조직의 전기적 특성을 정밀하게 측정할 필요가 있다.

비정상 조직에 대한 유전율과 도전율에 대한 측정 결과가 몇몇 연구자에 의해 보고된 바 있으며 정상조직과 암 조직 사이의 전기적 특성 차이가 존재한다고 보고되고 있다^{[5]-[8]}. 종양 조직의 유전율 특성 자료는 암치료를 위한 온열치료에 적용할 수 있고^{[7],[15]-[17]} 병소를 지닌 장기의 전기 특성을 유추하기 위한 모델을 개발하는데도 적용이 가능하다. 예를 들어 뇌종양의 전자파 영향에 대한 전자파 흡수율을 계산하기 위해서는 뇌종양의 정확한 유전율 특성 값이 필요하다. 종양 조직의 유전율 특성 자료의 또 다른 응용분야로는 새로운 진단장치로 활발히 연구되고 있는 마이크로파 영상 분야가 있다^{[18]-[21]}.

본 연구에서는 병리학적 생체조직의 생체 이종이식(異種移植, Xenograft) 배양을 이용하여 생체조직의 전자기적 특성을 분석하고자 한다. 생체 이종이식 배양을 이용한 종양조직의 전자기적 특성 분석은 사람의 암 조직을 직접 배양하여 측정하는 것으로 측정된 전기상수의 신뢰도가 매우 높으며 앞으로의 연구의 기초자료로 폭 넓게 활용될 수 있을 것이다. 또한 종양조직의 전기상수 측정값은 종양조직과 정상조직과의 상관관계를 밝히기 위한 컴퓨터 모의실험에 적용할 수 있는 기초자료로 활용할 수

있을 것으로 기대된다.

II. 실험

2-1 측정용 암 조직 적출

정상조직과 비정상조직(암 조직)에 대한 전자파 노출 영향을 분석하기 위한 선행연구로 병리학적 조직의 전기적 특성을 측정하였다. 필요한 병리학적 조직의 종류와 크기를 구하기가 어렵기 때문에 암 환자에서 적출한 암 조직을 면역이 결핍된 누드 마우스에 이식하여 실험에 사용할 수 있는 크기로 배양시켰다. 또한 시체(Dead body)의 경우 자가분해(Autolysis)로 인해 세포 조성의 변화가 일어나서 시간이 지나면 그 특성이 변하기 때문에 누드 마우스를 사용하여 조직을 배양시켰다(그림 1 참조). 누드 마우스에서 자란 암 조직을 측정하기 직전에 적출하여 측정에 사용된 암 조직이 살아있는 조직과 거의 같은 상태를 유지하도록 하였다. 누드 마우스 한 마리당 하나의 종양 조직을 배양시켰다. 측정에 사용된 종양은 두경부암(뇌종양) (Oligodendroglioma from Frontal Lobe), 위암(Advanced Gastric Carcinoma), 대장암(Sigmoid Colon Cancer), 유방암(Invasive Ductal Carcinoma) 등 네 종류이고 총 58 개 조직의 유전율을 측정하였다.

일반적으로 암세포가 자라는 속도가 일반 세포보다 빠르기 때문에 종양이 자라면서 종양 내부에는 영양(혈액) 공급이 원활히 이루어지지 않게 되며 결국 영양 공급을 받지 못한 내부 조직은 죽게 된다. 이러한 괴사조직은 종양과는 다른 조직이기 때문에



그림 1. 누드마우스에서 이종이식후 다자란 암덩어리
Fig. 1. Nude mouse with the mature cancerous tissue.

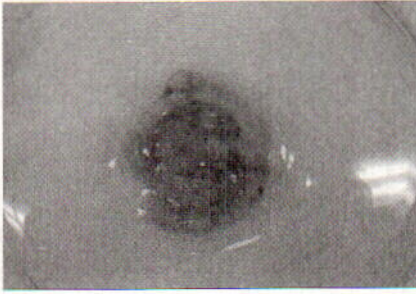


그림 2. 괴사조직이 제거된 종양
Fig. 2. Cancerous tissue from which the necrosis was removed.

종양의 유전율을 정확하게 측정하기 위해서 괴사조직을 제거한 암 조직을 사용하였다(그림 2 참조).

2-2 전기정수 측정

매질의 전기적 특성, 즉 유전율을 측정하는 방법에는 크게 전송선로를 이용하는 방법, 공진기를 이용하는 방법, 도파관을 이용하는 방법 등이 있다. 도파관을 이용하는 방법은 생체 조직과 같이 부드럽거나 크기가 제한되어 있을 경우에는 사용하기 어렵다. 공진기를 이용하는 방법은 넓은 주파수에 대해 측정할 수 없다. 이런 이유로 전송선로 방법 중 동축 케이블 구조를 갖는 유전체 프로브(Dielectric Probe)를 HP 8510 네트워크 분석기(Network Analy-

표 1. 유전체 프로브(HP 85070B)의 기본 특성^[2]
Table 1. Characteristics of the dielectric probe (HP 85070B).

	특성
주파수	200 MHz~20 GHz ($f_{max} = \frac{100GHz}{\sqrt{\epsilon_r}}$)
온도	-40 °C ~ 200 °C
비율	< 10°C / 1분
유전 상수 정밀도	± 5 %
손실 탄젠트 정밀도	± 0.05
투자율	$\mu_r = 1$
평평함	< 25 μm
시료의 지름	> 20 mm
시료의 두께	> $\frac{20mm}{\sqrt{\epsilon_r}}$ (여기서 $\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$)

zer)에 연결하여 암 조직의 유전율을 측정하였다.

여기서 사용한 프로브는 HP 85070B 유전체 프로브이며 기본 특성은 표 1과 같다.

암 조직의 유전율을 45 MHz~800 MHz와 500 MHz~5 GHz 대역으로 나누어 측정하였다. 측정에 사용된 프로브의 기준 주파수 대역은 200 MHz~20 GHz이다(표 1 참조). 암 조직을 담는 용기는 지름 34 mm의 페트리 접시를 사용하였다. 측정시 두께의 영향을 없애기 위해 같은 조직을 두 겹으로 하여 측정하였고, 보다 정확한 측정을 위해 한 조직당 세 번씩 측정하였다. 생체조직의 전기정수 측정에 앞서 먼저 유전체 프로브를 공기와 증류수 및 단락 블록(Short block)에 대해 교정한 후 매 측정마다 증류수의 유전율을 측정함으로써 프로브의 보정과 검증을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

측정된 병리학적 생체조직(뇌종양, 위암, 대장암, 유방암)의 유전율 값을 그림 3에 나타내었다. 측정에 사용된 병리학적 조직은 누드 마우스 한 마리당 한 조직씩 이종이식 방법으로 배양한 것이다. 다양한 종류의 사람의 암조직을 구하기가 무척 힘들었기 때문에 수집이 가능했던 네 종류의 종양에 대해 배양에 성공한 조직 모두를 측정에 사용하였다. 암의 종류에 따라 배양 성공률에 상당한 차이를 보였다. 측정값은 뇌종양이 배양된 누드 마우스 10마리, 위암이 배양된 누드 마우스 10마리, 대장암이 배양된 누드 마우스 28마리, 유방암이 배양된 누드 마우스 10마리에서 각각 적출한 총 58개의 암 조직들을 한 조직당 세 번씩 측정하여 종양별로 평균을 취하여 얻은 것이다. 대장암의 조직수가 다른 암들에 비해 많은 이유는 대장암이 다른 암들에 비해 누드 마우스에서 배양 성공률이 높았기 때문이다.

네 가지 종류의 종양에 대한 측정결과에 나타난 것처럼 모든 종양들의 유전율 값이 45 MHz에서 5 GHz까지의 전 주파수 대역에 걸쳐 유사한 특성을 보였다. 4종의 암 조직의 유전율 측정값의 표준편차는 ±1.6~6.3 % 범위에 있으며 종양에 따라 달랐다. 암의 종류가 다를 경우 유전율 값이 다를 것으로 예측하였으나 측정 결과 모두 유사한 값을 갖는

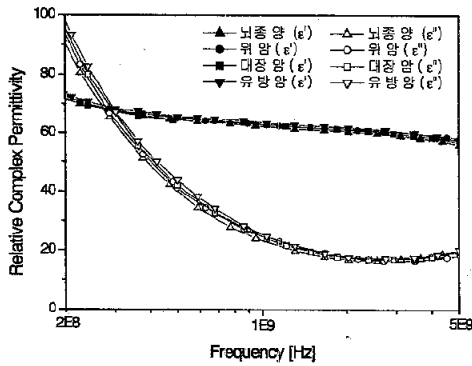


그림 3. 종양 조직들의 유전율 비교
Fig. 3. Measurement results of relative permittivities of the cancerous tissues.

것을 볼 수 있었다. 이것은 종양의 종류에 상관없이 종양을 구성하고 있는 조직 성분들이 같기 때문일 것으로 추정된다. 덧붙여서 암은 발생 위치에 따라 그종류가 결정된다.

유전체 프로브의 특성상 종양의 크기는 적어도 2.0 cm보다 커야 정확한 유전율 값을 잴 수 있다(표 1 참조). 그러나 암 조직을 생체 이종이식 방법으로 배양하기 위해 사용된 누드 마우스의 꼬리를 제외한 입에서 몸통까지의 평균 길이가 약 7.9 cm 밖에 되지 않기 때문에 종양 크기를 측정 가능 크기까지 키우는데 많은 어려움이 있었다. 예를 들어, 암덩어리가 직경 2.0 cm까지 자라면 그 크기가 누드 마우스 몸 길이의 약 1/4 크기에 해당하게 된다(그림 1 참조). 암덩어리 크기가 일정 크기를 넘어서면서부터는 누드 마우스의 생존을 담보할 수 없었기 때문에 종양을 무한정 크게 자라게 하는데 한계가 있었다. 이러한 종양 크기의 제한은 적출된 종양을 펼쳐서 표면적을 넓히는 방법으로 극복할 수 있었다.

발표된 자료들을 이용하여 정상조직의 뇌(회백질), 위, 대장, 유방 조직에 대한 유전율 값을 그림 4에 나타내었다^[23]. 조직에 따라 서로 다른 분산 거동을 보이는 것을 볼 수 있다. 그림 4에서 알 수 있듯이 뇌(회백질), 위, 대장 조직은 유전율 특성이 조금씩 차이를 보이며 주파수가 증가함에 따라 유전율을 값이 감소하는 경향을 나타낸다. 그러나 유방 조직의 경우 유전율 값이 다른 조직보다 상당히 낮은데 이는 유방이 다른 조직과 달리 지방으로 주로 이

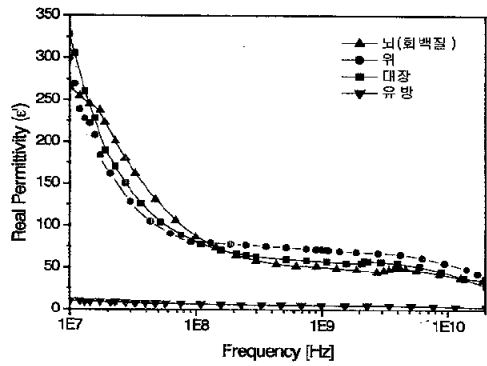


그림 4. 정상 조직들의 유전율 비교
Fig. 4. Relative permittivities of the normal tissues.

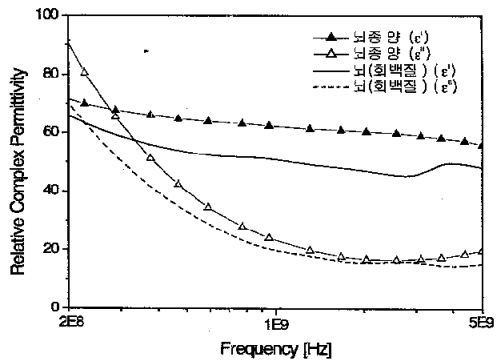


그림 5. 뇌(회백질)와 뇌종양의 유전율 비교
Fig. 5. Comparison of relative permittivities of brain tumor with the normal brain (white matter).

루어졌기 때문인 것으로 생각된다. 여기서 뇌(회백질)와 대장 조직은 양의 조직을 그리고 위와 유방 조직은 사람의 조직을 각각 사용하여 측정된 것이다^[23].

정상조직과 암 조직 간의 차이를 보기 위해 보고된 자료들을 이용하여 뇌(회백질), 위, 유방, 대장 조직과 각각의 암 조직들을 비교하여 그림 5~8에 나타내었다^[23].

뇌(회백질) 조직과 뇌종양의 유전율 값을 비교하여 그림 5에 나타내었다. 일반적으로 암 조직의 유전율과 도전율이 정상조직의 경우보다 더 높다고 보고되고 있으며^[3], 본 실험 결과도 뇌종양의 경우 정상조직에 비해 측정 주파수 대역에서 높은 유전

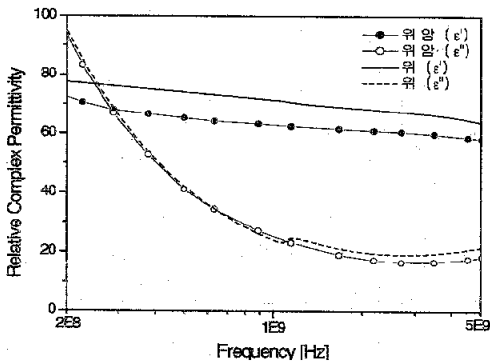


그림 6. 위와 위암의 유전을 비교
Fig. 6. Comparison of relative permittivities of stomach tumor with the normal stomach.

을 실수부 값을 나타내고 있다. 또한 뇌종양의 유전을 허수부는 저주파 대역에서 뇌(회백질) 조직보다 높은 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 뇌종양 및 뇌(회백질)의 유전율은 측정 주파수 대역에서 주파수 분산 거동을 보였다.

위암과 위조직의 유전율 값을 비교하여 그림 6에 나타내었다. 뇌종양과는 달리 위암의 유전율 실수부의 경우, 위 조직보다 낮은 값을 갖게 되고 정상조직과는 거의 일정한 차이를 보이며 주파수가 증가함에 따라 서서히 감소함을 볼 수 있다. 위암의 유전율 허수부의 경우, 측정된 주파수 대역에서 정상조직과 거의 유사한 값을 갖는 것을 볼 수 있다.

대부분의 암 조직이 정상조직에 비해 수분함량이

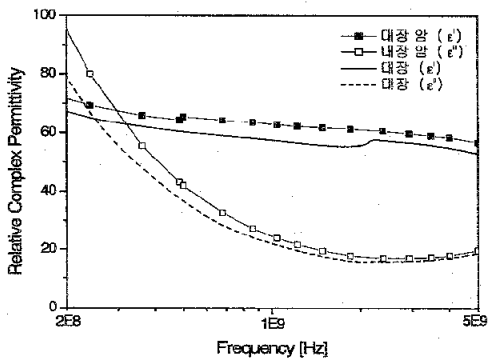


그림 7. 대장과 대장암의 유전을 비교
Fig. 7. Comparison of relative permittivities of colon tumor with the normal colon.

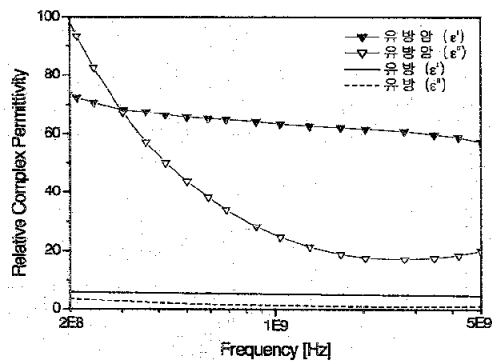


그림 8. 유방과 유방암의 유전을 비교
Fig. 8. Comparison of relative permittivities of breast cancer with the normal breast.

높기 때문에 유전율 값이 상대적으로 높게 나타난다고 보고되고 있다^{[5][6]}. 그러나 일부 조직의 경우 암 조직과 정상조직의 유전율 값이 유사하거나, 본 실험의 위 조직의 경우와 같이, 정상조직의 유전율 값이 암 조직에 비해 더 높은 경우가 보고되고 있다^[5].

그림 7은 대장암과 대장 조직의 유전율 값을 비교한 것으로 그림에서와 같이 대장암의 유전율 실수부는 대장 조직보다 측정 주파수 대역에서 약간 크게 나타나고 있으며, 주파수가 증가함에 따라 점차 그 차이가 감소하는 경향을 보였다. 대장암의 유전율 허수부도 측정 주파수 전 영역에 걸쳐 실수부와 유사한 경향을 나타내었다. 대장암의 유전율 실수부와 허수부 모두 측정 주파수 대역에서 주파수 분산 거동을 보였다.

유방암과 유방조직의 유전율 값을 비교하여 그림 8에 나타내었다. 유방암의 경우 다른 암들과 달리 정상조직의 유전율 값에 비해 큰 차이를 나타냈고 정상조직의 유전율 값보다 매우 높은 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 유방암 조직이 주파수에 대해 분산 거동을 보이는 반면 유방 조직의 유전율 값은 측정 주파수 대역에서 주파수에 대체로 무관하게 거동하는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 논문에서는 병리학적 생체조직을 생체 이중이

식 방법으로 배양하여 종양의 전자기적 특성을 분석하였다. 다 자란 암 조직을 측정하기 직전에 살아 있는 누드 마우스에서 적출하여 측정에 사용하였기 때문에 측정에 사용된 암 조직이 살아있는 조직과 거의 유사한 상태를 유지할 수 있었다. 신선한 사람의 종양 조직을 사용하여 측정된 본 논문의 결과는 높은 신뢰성을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 뇌종양, 유방암, 대장암, 위암 등 4종의 암 조직의 유전율 값을 45 MHz~5 GHz대역에서 측정하였다. 측정값을 비교, 분석하였을 때 암 조직들은 종류에 관계없이 유사한 유전율 값을 나타내는 것을 볼 수 있었다.

암 조직의 유전율을 정상조직의 유전율과 비교해 본 결과 암 조직의 유전율 값이 위 조직을 제외하고 뇌종양, 대장암, 유방암 조직 모두 정상조직에 비해 측정 주파수 대역에서 높은 값을 갖는 것을 알 수 있었다. 이것은 암 조직이 정상조직에 비해 높은 수분 함량을 갖기 때문인 것으로 추정된다. 위장 조직의 경우에는 다른 조직과는 반대의 경향을 보이는데 이에 대한 추가 연구가 필요하다. 그리고 신체내의 조직에 비정상조직이 있을 경우 전자파에 노출될 때 조직 주변에서의 전자파가 흡수되는 정도가 다를 것으로 예상되며 이에 대한 연구가 이루어진다면 의미 있는 결과가 나올 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] A. Peyman, A. A. Rezazadeh and C. Gabriel, "Changes in the dielectric properties of rat tissue as a function of age at microwave frequencies", *Phys. Med. Biol.*, vol. 46, pp. 1617-1629, 2001.

[2] C. Gabriel, S. Gabriel and E. Corthout, "The dielectric properties of biological tissues: I. Literature Survey", *Phys. Med. Biol.*, vol. 41, pp. 2231-2249, 1996.

[3] S. Gabriel, R. W. Lau and C. Gabriel, "The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz", *Phys. Med. Biol.*, vol. 41, pp. 2251-2269, 1996.

[4] S. Gabriel, R. W. Lau and C. Gabriel, "The

dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues", *Phys. Med. Biol.*, vol. 41, pp. 2271-2293, 1996.

[5] W. T. Joines, Y. Zhang, C. Li and L. Jirtle, "The measured electrical properties of normal and malignant human tissues from 50 to 900 MHz", *Med. Phys.*, vol. 21, no. 4, pp. 547-550, 1994.

[6] A. J. Surowiec, S. S. Stuchly, J. R. Barr and A. Swarup, "Dielectric properties of breast carcinoma and the surrounding tissues", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-35, no. 4, pp. 257-263, 1988.

[7] R. Peloso, D. T. Tuma and R. K. Jain, "Dielectric properties of solid tumors during normothermia and hyperthermia", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-31, no. 11, pp. 725-728, 1984.

[8] K. R. Forster and J. L. Schepps, "Dielectric properties of tumor and normal tissues at radio through microwave frequencies", *J. Microwave Power*, vol. 16, no. 2, pp. 107-119, 1981.

[9] 이애경, 최형도, 조광윤, "휴대전화의 전자파 노출에 대한 수치해석", *한국전자파학회 전자파기술*, vol. 12, no. 2, pp. 47-54, 2001.

[10] A. K. Lee, H. D. Choi, B. C. Kim, H. S. Lee and J. K. Pack, "Effect of Head Size for Mobile Phone Exposure on EM Absorption", *Proc. APMC2001*, pp. 384-387, 2001.

[11] 이애경, "인체 두부 크기에 따른 이동통신단말기의 전자파흡수율", 제4회 전자기장의 생체영향에 관한 워크숍 논문집, *한국전자파학회*, pp. 83-93, 2000.

[12] G. M. J. Van Leeuwen, J. J. W. Lagendijk, B. J. A. M. Van Leersum, A. P. M. Zwamborn, S. N. Hornsleth and A. N. T. J. Kotte, "Calculation of change in brain temperatures due to exposure to a mobile phone", *Phys. Med. Biol.*, vol. 44, pp. 2367-2379, 1999.

[13] P. R. Wainwright, "Localized specific absorp-

tion rate calculations in a realistic phantom leg at 1-30 MHz using a finite element method", *Phys. Med. Biol.*, vol. 44, pp. 1041-1052, 1999.

[14] P. J. Dimbylow and S. M. Mann, "SAR calculations in an anatomically realistic model of the head for mobile communication transceivers at 900 MHz and 1.8 GHz", *Phys. Med. Biol.*, vol. 39, pp. 1573-1553, 1994.

[15] A. Dietsch, J. C. Camart, J. P. Sozanski, B. Prevost, B. Mauroy and M. Chive, "Microwave thermochemotherapy in the treatment of the bladder carcinoma-electromagnetic and dielectric studies-clinical protocol", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 47, pp. 633-641, 2000.

[16] 김명세, "고온 온열치료장치를 사용한 종양치료의 생물학적 원리", 제3회 전자장의 생체영향에 관한 워크숍 논문집, 한국전자과학회, pp. 47-55, 1999.

[17] 추성실, "전자파를 이용한 온열장치의 특성", 제3회 전자장의 생체영향에 관한 워크숍 논문집, 한국전자과학회, pp. 56-61, 1999.

[18] 유돈식, 최형도, 이형수, "생활 속의 전자파 활용 - 마이크로파를 이용한 진단장치", 한국전자과학회 전자과학기술, vol. 12, pp. 55-61, 2001.

[19] E. C. Fear and M. A. Stuchly, "Microwave detection of breast cancer", *IEEE Trans. MTT*, vol. 48, no.11, pp. 1854-1863, 2000.

[20] P. M. Meaney, M. W. Fanning, S. P. Poplack and K. D. Paulsen, "A clinical prototype for active microwave imaging of the breast", *IEEE Trans. MTT*, vol. 48, no. 11, pp. 1841-1853, 2000.

[21] A. Franchois, A. Joisel, C. Pichot and J. C. Bolomey, "Quantitative microwave imaging with a 2.45 GHz planar microwave camera", *IEEE Trans Med Imaging*, vol. 17, no. 4, pp. 550-561, 1998.

[22] User's Manual HP 85070B Dielectric Probe Kit, Hewlett-Packard Company, 1993.

[23] <http://www.brooks.af.mil/AFRL/HED/hedr/reports/dielectric/Report/Report.html>.

유 돈 식



1987년 2월: 고려대학교 물리학과 (이학사)
 1998년 9월: 런던대학교 (Univ. College London) 의물리학 및 생체공학과 (의물리학박사)
 1999년 3월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송연구소 전파기반연

구부 선임연구원

[주 관심분야] 전자파 생체영향, 의물리학, 의용생체공학, 자기공명영상기법, 의료영상처리 등

김 봉 석



2001년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
 2001년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] 전자파 전파 및 산란, 전자파 생체영향

최 형 도



1986년 2월: 고려대학교 재료공학과 (공학사)
1989년 8월: 고려대학교 재료공학과 대학원 (공학석사)
1996년 8월: 고려대학교 재료공학과 대학원 (공학박사)
1997년 1월~현재: 한국전자통신연구원

무선방송연구소 전파기반연구부 선임연구원
[주 관심분야] EMI/EMC, 전자파 인체영향

이 애 경



1990년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
1992년 2월: 중앙대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1992년 2월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송연구소 전파기반연구부 선임연구원

[주 관심분야] EMC 현상의 이론적 해석, 전자파 인체영향 등

백 정 기



1978년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1984년: Virginia Tech. (공학석사)
1988년: Virginia Tech. (공학박사)
1978년 3월~1983년 2월: 국방과학연구소
1988년 10월~1989년 2월: 한국전자통신연구원

1989년 3월~1995년 2월: 동아대학교 전자공학과 부교수
1995년 2월~현재: 충남대학교 전파공학과 교수
[주 관심분야] 전자파 전파 및 산란, 전자파 생체영향, 초고주파 회로