

전자파를 이용한 유방암 진단 연구

전순익 · 이종문 · 김혁제

한국전자통신연구원
전파기술연구그룹

I. 개 요

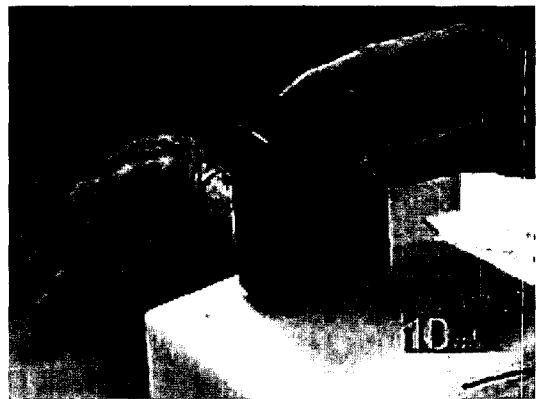
전파는 인류에게 산업 사회에서 뿐만 아니라 정보 사회와 지식 기반 사회에 이르기까지 수많은 편리함과 풍요로움을 제공하는 긍정적인 효과, 즉 전파 순기능을 제공하고 있으며, 디지털 컨버전스 사회와 유비쿼터스 사회에서 전파 이용 기술은 더욱 많은 유용성과 다양성을 제공해 주게 될 것이다. 전파이용의 순기능을 가진 기술들은 여러 가지가 있을 수 있다. 이들 중에서 IT-BT 융합의 첨단 기술 분야로 전자파를 이용한 의료 진단 및 치료 분야가 최근 활발히 연구되고 있으며, 특히 진단 분야에서는 전자파를 이용한 인체 종양 진단 기술 연구가 이루어지고 있다.

의료 분야의 선도 국가들은 인체 종양 진단에서 영상 진단 기기의 차세대 기술 연구에 많은 관심을 보이고 있다. 선진국인 미국, 독일, 네덜란드, 일본 등에서는 고기능, 고해상도의 차세대 영상 진단 기기 연구에 막대한 투자를 하고 있다. 미국은 의료 영상 분야에 있어서 가장 높은 기술 수준을 보유하고 있으며 BT 분야의 기술 발전을 주도하여 최근에는 IT 및 NT 기술을 접목한 임상의학 응용 신기술 개발에 투자를 하고 있다. 미국의 GE를 비롯한 주요 기업 및 대학들에서는 IT-BT 융합 기술을 기반으로 Functional & Molecular 영상 진단 기술과 u-헬스케어 구현을 위한 현장 자가 진단 기술 및 디지털 고기능 영상 기기와 같은 분야의 신기술 개발에 주력하고 있다.

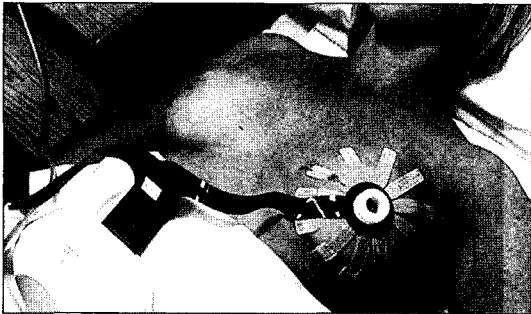
일본의 경우는 의료 분야에서 국가적인 u-헬스케어 산업 육성 정책에 따라, 국가적으로 추진하고 있

는 IT를 이용한 의료 중심 네트워크 사업에 NEC, HITACHI 등 대형 SI업체들이 참여하고 있다. TOSHIBA의 경우는 중저가형 세계 의료 기기 시장을 주도하고 많은 연구비를 투입하여 원천 기술 확보에 주력하고 있다.

특히 미국의 경우에 차세대 유방암 진단 관련 연구 프로젝트가 국립암센터를 중심으로 추진되어 2006년 현재 약 2,900여개의 과제가 진행되고 있다. 미국의 유방암 발병은 여성에 있어 약 천명에 한명 수준으로 발생하고 있으며, 그 비율은 계속 증가하는 추세이다. 미국 Pennsylvania 대학 연구팀은 미 국방성의 유방암 연구 프로그램 지원으로 근적외선을 이용해 유방 세포속의 혈중 산소 비율을 측정해 유방암 유무의 징후가 발견되면 경고음 등을 발생시키는 iFind라는 자가 진단 장치를 개발하여 임상 실험을 수행하고 있다. 그리고 지-테크(Z-Tech)사는 전류가 인체의 정상 조직보다 암 조직을 쉽게 통과하는 성



[그림 1] 유방암 조기 진단 장치(iFind)

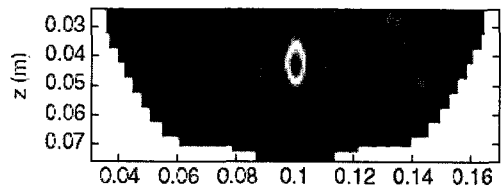
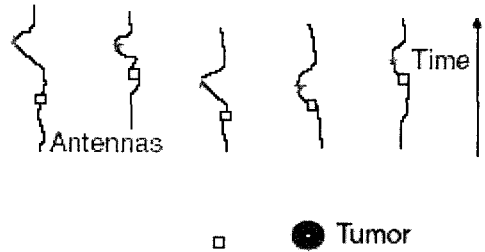


[그림 2] Z-Tech사의 유방암 조기 진단 장치(HEDA)

질을 이용하여 유방암 유무를 탐지할 수 있는 진단 기기를 개발하였다.

최근에는 유방암 영상 진단 기기 분야에서 방사선 등을 이용한 의료 진단 장치들에 대한 대체 및 보완 장치로 전자파를 이용한 유방암 진단 기술이 전세계적으로 활발히 연구되고 있으며, 영상 복원 기법 개선 연구, 동물 실험과 자원자 실험 등이 함께 진행 중에 있다. 현재 미국, 캐나다 등에서는 자국 정부 기관의 지원을 받아 전자파 기술을 응용한 유방암의 검진 기술을 연구하고 있다. Calgary 대학(캐나다)의 Elise C. Fear 교수는 액체에서 동작하는 안테나 모델을 이용하여 유방암 조직을 검진하는 진단기기 기술을 연구하였으며, skin sensing 성능을 개선하기 위한 방식을 고안하여 기존의 방식으로는 피부의 두께에 따라 20~30%의 오차를 보이던 진단 기기의 성능을 1.5% 오차 범위로 개선하는 연구 결과를 발표하였다.

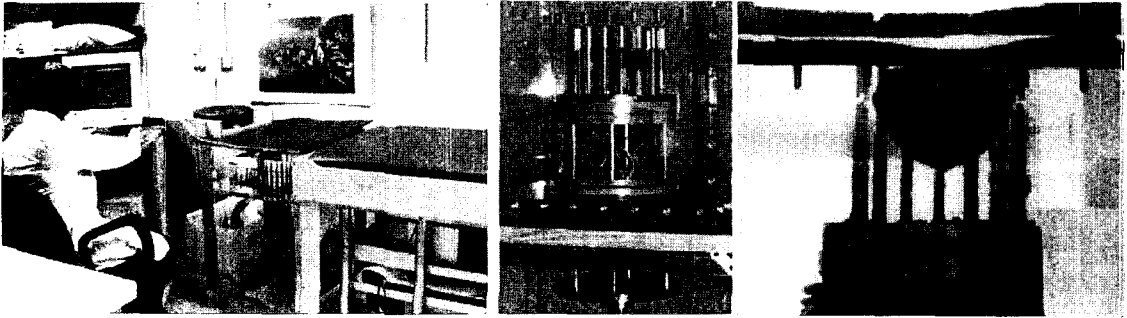
Wisconsin 대학(미국)의 S. C. Hagness 교수는 교차 편파 측정 방식을 이용하여 암 조직을 검진하는 Microwave Imaging(MI) 기법을 연구하였으며, Arkansas 대학(미국)의 Magda El-Shenawee 교수는 마이크로 웨이브 진단 기기에 적용하기 위한 미소 다이폴(Minutesimal dipoles)을 이용한 배열 안테나 연구를 수행하였다. McGill 대학(캐나다)의 Milica Popovic 교수는 2005년도부터 현재까지 1~11 GHz까지 동작하는 초광대역 다이폴 안테나를 T-자와 X-자 배열(Arrangement)



[그림 3] Calgary 대학의 유방암 진단 시뮬레이션 결과

한 'Dark eye' 안테나를 개발하였으며, 이를 활용하여 교차 편파를 이용한 Microwave Imaging 개선 방법 연구를 진행 중이다. Mississippi 대학(미국)의 A. A. Kishk 교수는 Conformal 배열 안테나를 이용하는 Probe 급전 방식의 유전체 공진기 센서를 개발하였으며, 안테나의 소형화에 따라 발생하는 후방 방사를 최소화하는 등의 진단 기기용 안테나 센서 개선 연구를 수행 중이다. Cochin 과학기술대학(인도)의 K. T. Mathew 교수는 평판형 CPW 급전 형태를 갖는 Bowtie 안테나를 개발하여 실제 인체 조직과 유사한 신체 모델을 이용하여 유방암 진단 시험을 수행하였다. Dartmouth 대학(미국) P. M. Meaney 교수는 유방암에 대하여 500 MHz~3 GHz에서 멀티 안테나를 이용한 진단 장치를 제작하고 임상 실험을 하였다.

Jingsu 대학(중국)의 Gang Wang 교수는 FDTD를 이용한 Multi-target imaging 및 MI 기술을 연구하여 유방 조직의 균일 및 비균일 조건에 따른 2개의 암 세포를 구별하는 방법을 개발하였다. 이외에도 국제적으로는 마이크로웨이브 전자파 기반 진단 기기에 관련하여 활발한 연구가 이루어지고 있다.



[그림 4] Dartmouth 대학의 유방암 진단 장치 시제품

국내에서는 경희대에서 2002년부터 EIT(Electrical Impedance Tomography) 연구를 수행하고 있으며, 마이크로파 영상 복원(MT: Microwave Tomography) 연구가 MRI와 마이크로파 단층 촬영을 결합한 고해상도 MRMT(Magnetic Resonance Microwave Tomography) 시스템 기반으로 수행되고 있다. 서울대 3차원 밀리미터와 연구단에서는 암 수술 중 밀리미터파를 이용하여 절개 부위 주변에 암 조직이 남아 있는지 확인하고 즉석에서 잔여 암세포를 태워 버릴 수 있는 밀리미터파 기기를 연구 개발 중에 있다.

국내에서도 유방암은 여성에 있어 약 만명에 한 명 수준으로 주로 30~40대에서 발생하고 있으며, 그 비율은 계속 증가하고 있다. 최근에는 생활의 서양화 추세에 따라 20대의 젊은 층에서도 발병률이 증가하고 있는 실정이다. 국내에서는 ETRI가 국내 학계와 협력하여 전파 이용을 기반으로 하는 유방암 및 종양 진단 기술 연구를 정부 출연으로 2007년부터 시작하고 있다.

II. 전자파 이용 유방암 진단 기술의 종류

유방암 진단 기술에서 X-선 영상 기법은 현재 가장 보편적인 유방의 이미징 기법이며, 여성들에게 1차 권장되는 유방암 검진 방법이다. 그러나 이러한 mammography는 미국 Institute of Medicine(IOM) 보고

서에 따르면 평균 15%의 오진율을 보이고 있다^[1]. 이러한 경향은 초음파 진단 방법에서도 유사한 결과를 보이고 있다. 다른 방법으로는 MRI와 CT가 있다. 이러한 이미징 기술은 매우 정밀한 진단 결과를 제공하지만 한편으로는 mammography와 함께 강한 자계 및 방사선에 대한 환자의 노출이라는 단점을 가지고 있다. MRI의 경우는 지구 자기장이 0.3 T인 것과 비교하여 최대 7 T의 강력한 자기장을 형성하여 이용하며, CT의 경우는 인체 한계치인 500 mrem과 비교하여 1회 진단에서 인체를 30 mrem의 방사선에 노출시킨다. 또한, mammography는 이러한 방사선 문제 외에도 유방을 압박하여 촬영하므로 환자에게 일시적인 고통과 불편을 주고 있는 실정이다. 이에 따라 미국의 미국 IOM 보고서는 유방암 검진을 위한 대체 기술의 필요성과 대체 기술에 대한 다양한 요구 사항을 제시하고 있다.

전자파를 이용한 영상 복원의 이미징 기술은 의



[그림 5] X-선 mammography 유방암 진단 장치

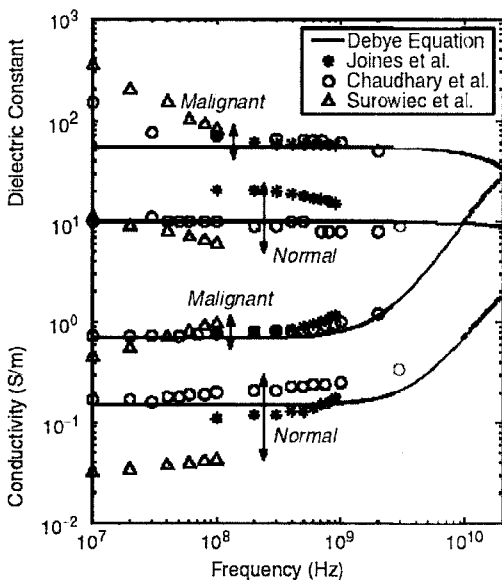
학적 이용 분야에서 이전부터 기술적 관심 대상이었다. 최근에는 알고리즘과 연산 기술 및 하드웨어의 기술 발전으로 전자파 이미징 기술을 유방암 진단에 적용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 전자파를 이용한 유방암 진단 방법은 IOM의 요구 조건을 만족하고 있다. 이 방법은 안전하면서도 편안하며 작은 크기의 종양 진단이 가능하면서도 저렴하다는 장점이 있다. 인체 조직의 유전을 특징에 대한 연구는 지난 수십 년간 연구가 진행되어 왔다^{[2]-[4]}. 유방은 정상 세포와 종양 사이의 물질 특성차가 분명하고 유방 조직이 다른 신체 부위와 비교하여 균일한 특징을 가지고 있으므로 전자파를 이용한 이미징 기술의 적용에는 매우 적합한 대상이 되고 있다^[5].

초고주파 대역에서의 유방에 대한 이미징 기술은 passive, hybrid 그리고 active 방식으로 분류된다. Passive 방식은 예로서 유방암에 의한 체온 증가를 검출하는 방식과 같은 기술이다^{[6],[7]}. Hybrid 방식은 초고

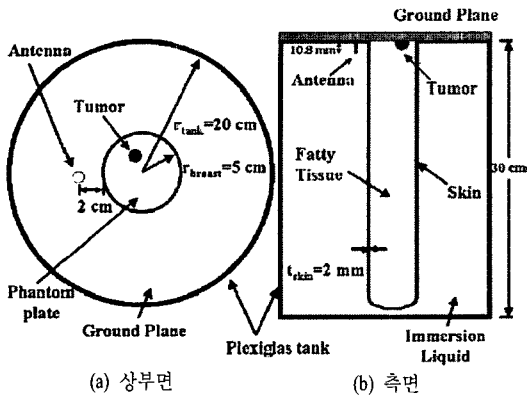
주파 신호로 종양의 온도를 증가시키고 이에 따라 종양의 증가하는 초음파 반응을 이용하여 초음파로 종양을 검출하는 방식과 같은 기술이다^{[8]-[11]}. Active 방식은 유방 조직에 마이크로웨이브를 송신하고 조직을 통과하거나 반사된 신호들을 이용하여 영상을 만들어 진단하는 방식이다. 이 방식에는 backscattered reflection을 이용하는 radar-based Microwave Imaging (MI)과 inverse scattering에 기초한 Microwave Tomography(MT)가 있다^{[12]-[20]}. 현재는 active 방식이 가장 많이 연구되고 있다.

2-1 레이더 기반 마이크로웨이브 이미징(MI)

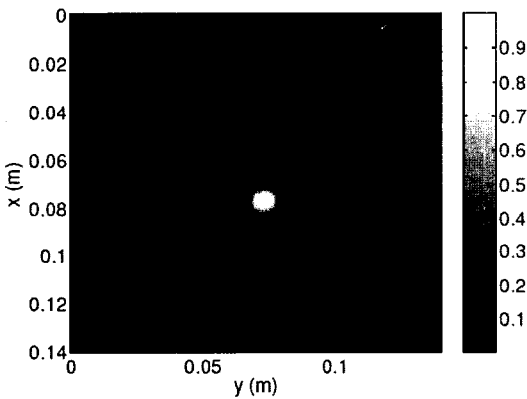
레이더 기반의 MI를 이용한 유방암 진단 기술은 Hagness 교수 등에 의해 최초로 소개되었다^[21]. 레이더 기반의 MI는 종양의 위치를 찾기 위하여 유방으로부터 반사되는 신호에 집중하는 기술이다. 주파수는 주로 1 GHz에서 10 GHz까지 광범위하게 사용되고 있다. 세부 기술에는 MI via Space Time beamforming (MIST) 방식과 Tissue Sensing Adaptive Radar (TSAR) 방식이 있다. MIST 시스템은 환자의 등을 높히고 안테나가 유방 횡단면을 스캔하는 방식이다. 반면에 TSAR 방식은 환자의 등이 위로 가게 옆드려서 유방의 주위를 스캔하는 방식이다. 레이더 기반 MI의 Confocal Microwave Imaging(CMI) 기법은 큰 반사 신호가 발생하는 경우에 더욱 분명한 진단이 가능하다. 초고주파에 대하여 심한 종양은 정상적인 조직과 비교하여 보다 큰 scattering cross section을 가진다. CMI를 이용하여 공간적으로 집중된 focusing은 적절한 주파수의 선택에 따라 mm 단위까지의 종양 진단이 가능하게 한다. CMI 등 레이더 기반의 MI 연구에서는 주로 이상적인 환경에서의 팬텀을 이용한 모의 시험 결과가 주로 보고되고 있다. 임상 시험이나 임상 시험 직전 단계의 연구 결과는 아직까지 발표되지 않고 있다.



[그림 6] Deye 곡선: 정상 조직과 종양 조직의 유전을 및 전도율 특징 곡선



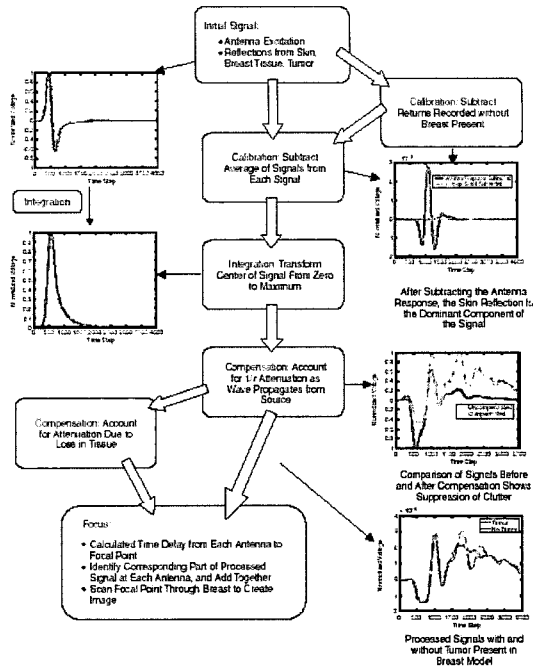
[그림 7] 유방 팬텀과 다이폴 안테나를 이용한 CMI 시험



[그림 8] 유방 팬텀(1 cm 종양 모델) 이용한 진단 결과 CMI 영상

2-2 마이크로웨이브 토모그래피(MT)

Microwave tomography는 유방암 진단에서 영상을 얻기 위하여 inverse scattering 기술을 이용한다. Inverse scattering은 진단 목표로부터의 reflection에 기반한 CMI와는 달리 영상 목표로부터 diffraction을 포함한 모든 scattering 신호 정보를 얻고 이 정보를 역산하여 목표의 유전율과 전도를 영상 지도를 만드는 기술이다. MT 영상은 유방 내부의 물질 특성에 대한 영상 정보를 제공한다. 이러한 특징은 단순히 신호 감쇄로부터 유방 내부 물질 분포에 따른 명암 정

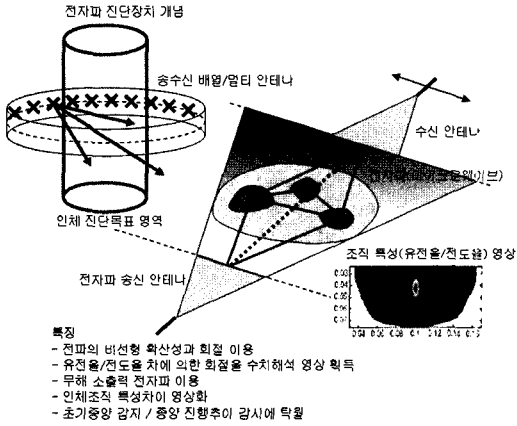


[그림 9] CMI의 영상 복원 알고리즘

보를 제공하는 기존의 장비와는 차이가 있다. MT는 이러한 특징으로 기존 장비를 보완할 수 있다. 또한, MT는 성능 대비 경제적인 비용으로 기존 장비의 기능을 제공할 수 있으며, 진단 기기로서 안전하다는 장점이 있다. 지금까지 몇 개의 연구 그룹이 MT 기술에 대한 연구를 수행하였다. 그러나 이들 중에서 가장 장기간 유방암 진단 MT 기술을 연구한 그룹은 Dartmouth 대학이다^{[22],[23]}. Dartmouth 대학은 현재 2D FEM 방식 MT 기반 유방암 진단 시스템 시제품을 제작하였으며, 임상 시험을 진행하고 있다.

III. MT 기반의 유방암 진단 연구

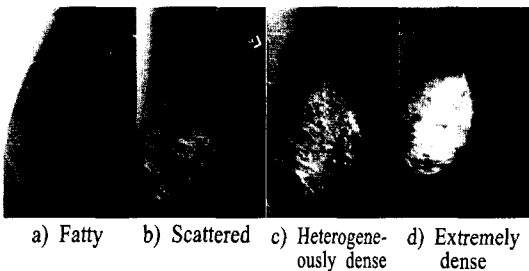
MT 유방암 진단을 위해서는 환자가 진단 테이블에 등을 위로 하고 옆드려야 한다. 유방 진단을 위하여 안테나 센서는 유방 주위에 위치하게 된다. Dartmouth 대학의 경우는 진단을 위해 500 MHz에서 3



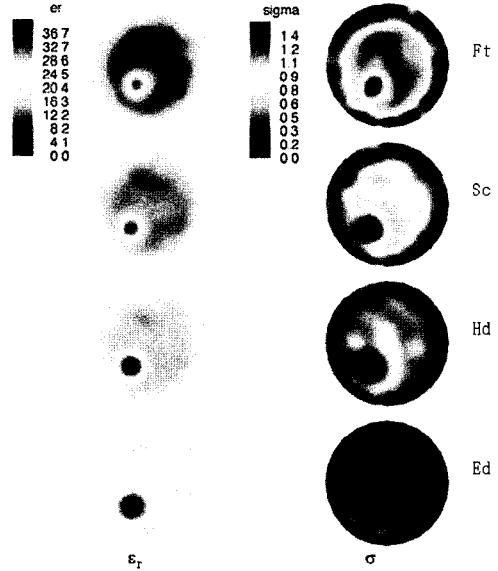
[그림 10] MT 영상 복원의 개념

GHz까지의 초고주파 신호가 사용되었다. 그리고 영상 복원에는 FEM(finite element method)과 BEM(boundary elements methods)의 hybrid 혼합 방식을 적용되었다. FEM은 유방 조직 해석에 적용되었고 BEM은 유방 외부에 대하여 적용되었다. Nonlinear inverse problem을 풀기 위해서는 Newton-Raphson iterative method가 사용되었다^[24]. MT 유방암 진단 기기는 초기 연구에 팬텀을 사용한다. 진단에 사용되는 팬텀은 유방의 특징에 따라 fatty, scattered, heterogeneously dense, extremely dense 등 4종류로 분류된다.

의료 분야 기술 연구에서는 장치나 기기의 하드웨어 및 소프트웨어 개발뿐만 아니라 개발 기술의 임상 시험이 매우 중요하다. 인체에 대한 진단 및 치료



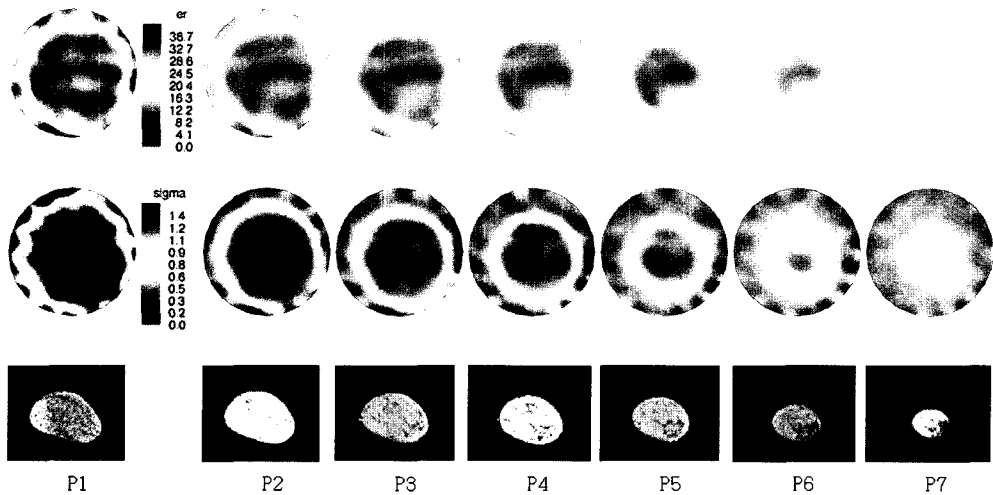
[그림 11] 유방의 특징에 따른 분류



[그림 12] MT 기반 유방 팬텀(2 cm 종양) 진단 결과의 영상

기술은 IT기술 개발과는 다른 연구 단계가 필요하다. 이러한 과정이 필요한 이유는 첫째, 많은 모집단을 가진 임상 시험을 통하여 기술의 신뢰성을 확인하여야 의료 사고를 피할 수 있기 때문이다. 둘째는 임상 의사가 기술의 도움을 받아 획득한 정보로부터 환자에 대한 올바른 최종 판단을 하기 위해서는 누적된 임상 경험이 요구되기 때문이다. 의료 분야에서는 기계의 고장에 따른 단순한 불편함의 문제가 아닌 인간 생명에 대한 책임이 수반되기 때문이다.

현재 전자파 이용 유방암 진단 분야에서 유일하게 사전 임상 시험을 실행하고 있는 Dartmouth 대학 연구의 경우에서도 이러한 과정을 확인할 수 있다. 연구에서는 2002년까지 약 40명이 임상 시험에 참여하였다. 사전 임상 시험을 위하여 미국 정부 기관 NIH의 연구 투자가 선행되었다. 사전 임상 시험에서는 임상 환자의 MT 진단 영상을 MRI와 같은 기존 영상 진단 장비와 비교하여야 기술의 정확도와 신뢰도를 확인할 수 있다.



[그림 13] MT 기반 유방암 진단 임상 시험 결과 7단계 횡단면 영상(위로부터 유전율 영상, 전도율 영상, MRI 영상)

IV. 결 론

지금까지 전자파에 대한 관심은 무선 통신에서의 전파 사용과 같은 경우를 제외하고는 대부분 전자파의 유해성에 대한 연구가 주를 이루었다. 이런 점에서 최근의 연구 동향이 전자파의 긍정적 측면을 발굴하기 위하여 노력하고 그러한 방향에서 전자파를 기반으로 하는 의료 진단 및 치료 기술 개발에 관심이 집중되고 있는 것은 매우 바람직한 경향이라고 볼 수 있다. 특히 전자파를 기반으로 하는 유방암 진단 기술에 대한 연구는 유방암의 증가 추세와 높은 발생 비율을 고려할 때 적절한 응용 분야로 판단된다. 또한, 긍정적인 것은 유방 조직이 전자파를 이용한 진단에 매우 적합한 조직 특성을 가지고 있다는 것이다.

기존의 유방암 영상 진단 기술과 비교하여 전자파를 이용한 새로운 영상 진단 기술들이 다양하게 지속적으로 연구되고 있고 또한 증가하고 있다. 이들 기술들은 서로 경쟁하면서 발전하고 있다. 이들 중에서 전자파 이용 MT 기술의 경우는 사전 임상 시험 단계까지 진행되고 있다. 따라서 전자파를 이용한 새로운 영상 진단 기술이 유방암 진단에 적용

가능하다는 것은 이미 분명하다고 볼 수 있다.

그러나 기존의 유방암 영상 진단 기술의 완성도와 비교할 때 전자파를 이용한 새로운 영상 진단 기술들은 기술적으로 초기 기술 수준에 있다고 할 수 있다. 하드웨어, 소프트웨어, 임상학적으로 여전히 많은 기초 및 응용 연구가 수행되어야 하며 이를 위한 지원 기술의 발전이 요구되고 있다. 이것은 본 기고에 소개된 많은 참고문헌들을 통하여 확인할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Committee on Technologies for the Early Detection of Breast Cancer, Mammography and Beyond: Developing Technologies for the Early Detection of Breast Cancer, S. J. Nass, I. C. Henderson, and J. C. Lashof, Eds. National Cancer Policy Board, Institute of Medicine, and Commission on Life Studies, National Research Council, 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 on 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] X. Li, S. C. Hagness, "A confocal microwave imaging algorithm for breast cancer detection", *IEEE Microwave Wireless Components Lett.*, vol. 11, pp. 130-132, Mar. 2001.
- [6] S. Mouty, B. Bocquet, R. Ringot, N. Rocourt, and P. Devos, "Microwave radiometric imaging for the characterisation of breast tumors", *Eur. Phys. J., Appl. Phys.*, vol. 10, pp. 73-78, 2000.
- [7] K. L. Carr, P. Cevasco, P. Dunlea, and J. Shaeffer, "Radiometric sensing: An adjuvant to mammography to determine breast biopsy", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 2, pp. 929-932, 2000.
- [8] R. A. Kruger, K. K. Kopecky, A. M Aisen, D. R. Reinecke, G. A. Kruger, and W. L. Kiser, Jr.. "Thermoacoustic CT with radio waves: A medical imaging paradigm", *Radiology*, vol. 211, pp. 275-278, 1999.
- [9] R. A. Kruger, W. L. Kiser, Jr., D. R. Reinecke, G. A. Kruger, and R. L. Eisenhart, "Thermoacoustic computed tomography of the breast at 434 MHz", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 2, pp. 591-594, 1999.
- [10] L. V. Wang, X. Zho, H. Sun, and G. Ku, "Microwave-induced acoustic imaging of biological tissues," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 70, pp. 3744-3748, 1999.
- [11] G. Ku, L.V. Wang, "Scanning thermoacoustic tomography in biological tissue," *Med. Phys.*, vol. 27, pp. 1195-1202, 2000.
- [12] P. M. Meaney, M. W. Fanning, D. Li, S. P. Poplack, and K. D. Paulsen, "A clinical prototype for active microwave imaging of the breast", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 48, pp. 1841-1853, Nov. 2000.
- [13] P. M. Meaney, K. D. Paulsen, and M. W. Fanning, "Microwave imaging for breast cancer detection: preliminary experience", *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, vol. 3977, pp. 308-319, 2000.
- [14] A. E. Souvorov, A. E. Bulyshev, S. Y. Semenov, R. H. Svenson, and G. P. Tatsis, "Two-dimensional computer analysis of a microwave flat antenna array for breast cancer tomography", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 48, pp. 1413-1415, Aug. 2000.
- [15] A. E. Bulyshev, S. Y. Semenov, A. E. Souvorov, R. H. Svenson, A. G. Nazarov, Y. E. Sizov, and G. P. Tatsis, "Computational modeling of three-dimensional microwave tomography of breast cancer", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 48, pp. 1053-1056, Sep. 2001.
- [16] S. C. Hagness, A. Taflove, and J. E. Bridges, "Two-dimensional FDTD analysis of a pulsed microwave confocal system for breast cancer detection: fixed-focus and antenna-array sensors", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 45, pp. 1470-1479, Dec. 1998.
- [17] S. C. Hagness, A. Taflove, and J. E. Bridges, "Three-dimensional FDTD analysis of pulsed microwave confocal system for breast cancer detection: design of an antenna-array element", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 47, pp. 783-791, May 1999.
- [18] E. C. Fear, M. A. Stuchly, "Microwave detection

- of breast cancer", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 48, pp. 1854-1863, Nov. 2000.
- [19] E. C. Fear, M. A. Stuchly, "Microwave system for breast tumor detection", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 9, pp. 470-472, Nov. 1999.
- [20] X. Li, S. C. Hagness, "A confocal microwave imaging algorithm for breast cancer detection", *IEEE Microwave Wireless Components Lett.*, vol. 11, pp. 130-132, Mar. 2001., "Biological imaging", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 43, pp. 869-877, Sep. 1996.
- [21] S. C. Hagness, A. Taflove, and J. E. Bridges, "Two-dimensional FDTD analysis of a pulsed microwave confocal system for breast cancer detection: Fixed-focus and antenna-array sensors", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 45, no. 12, pp. 1470-1479, Dec. 1998.
- [22] P. M. Meaney, K. D. Paulsen, and T. P. Ryan. "Two-dimensional hybrid element image reconstruction for TM illumination", *IEEE Trans. Ant. and Prop.*, vol. 43, pp. 239-247, 1995.
- [23] P. M. Meaney, M. W. Fanning, T. Raynolds, C. J. Fox, Q. Fang, C. A. Kogel, S. P. Poplack, and K. D. Paulsen, "Initial clinical experience with microwave breast imaging in women with normal mammography", *Academic Radiology*, vol. 14, pp. 207-218, 2007.
- [24] P. M. Meaney, K. D. Paulsen, M. W. Fanning, and A. Hartov, "Nonactive antenna compensation for fixed-array microwave imaging: Part II-Imaging results", *IEEE Trans. Med. Imag.*, vol. 18, pp. 508-518, Jun. 1999.

≡ 필자소개 ≡

전 순 익



1984년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
 1990년 9월~현재: 한국전자통신연구원 안테나기술연구팀장

[주 관심분야] 안테나, 전자파 이용 진단 및 치료

이 증 문



1996년 2월: 충북대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
 1999년 8월: 충북대학교 전파공학과 (공학석사)
 2005년 2월: 충북대학교 전파공학과 (공학박사)
 2000년 4월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원

[주 관심분야] 안테나, RF 회로설계, RF 시스템, 영상복원알고리즘

김 혁 제

1995년: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
 1995년~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
 [주 관심분야] RF 시스템, 디지털 시스템, 영상복원알고리즘