

체임피던스 방법을 이용한 PDA 기반의 휴대용 체지방 측정 및 진단 시스템 개발

권세윤¹, 이상민¹, 김재환¹, 우지환¹, 김인영¹, 이형기², 방석원², 김선일¹

¹한양대학교 의공학교실, ²삼성전자(주) 삼성종합기술원 HCI 랩
(2003년 5월 15일 접수, 2003년 10월 18일 채택)

Development of the PDA Based Mobile System for Body Fat Measurement and Diagnosis Using Bioelectrical Impedance Method

S.Y. Kwon¹, S.M. Lee¹, J.H. Kim¹, J.H. Woo¹, I.Y. Kim¹, H.K. Lee², S.W. Bang², S.I. Kim¹

¹Dept. of Biomedical engineering, Hanyang University,
²HCI Lab, Samsung Advanced Institute of Technology, Samsung Electronics Co., Ltd.
(Received May 15, 2003. Accepted October 18, 2003)

요약 : 최근 건강에 대한 관심이 증가함에 따라 많은 사람들은 일상생활 중 언제 어디서나 체지방과 같은 자신의 건강 상태를 지속적으로 확인하고 싶어 한다. PDA(Personal Digital Assistance, 개인 휴대용 단말기)는 휴대용 무선 장치의 특성으로 인해 그 수요가 점점 증가하고 있으며 휴대용 계측 시스템으로의 응용이 가능하다. 본 연구에서는 PDA 크래들 형태의 측정 모듈 및 WindowCE 운영 체제를 사용하는 소프트웨어 모듈로 구성된 PDA 기반 체지방 측정 시스템을 제작 하였다. 또한 20~32세 사이의 63명의(남 53, 여 10) 건강한 피검자를 대상으로 임상 실험을 통해 체지방량 산출 선형 회귀식을 도출하였다 (체지방량(kg) = 0.0005*신장² - 0.0160*임피던스 + 0.3920*체중 - 0.0684*나이 - 5.8141*성별 + 25.984). 체지방 측정에 있어 본 연구에서 제작된 기기와 기존의 시판 중인 bionet사의 HTM1000plus (KFDA 승인) 기기와의 상호 상관 계수는 0.928로써 체지방 측정에 있어 본 기기의 신뢰성을 간접적으로 나타내었다. 이와 같은 결과는 본 연구에서 제작된 기기가 PDA 크래들 형태의 소형화 된 시스템임에도 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다.

Abstract : Recently, many people want to know their state of health, such as a body fat rate, anywhere and anytime. The Personal Digital Assistance(PDA) is the portable wireless apparatus that has become widely popular. There are many application areas of the PDA to be in mobile care devices. In this study, we developed the PDA based body fat measurement system, composed of a cradle type measurement module and a WindowCE operated software module, a regression equation for predicting lean body mass (LBM). Sixty-three weight-stable subjects (53 men, 10 women) aged 20~32yr participated in this study. A regression model, $LBM = 0.0005 * Height^2 - 0.0160 * Impedance + 0.3920 * Weight - 0.0684 * Age - 5.8141 * Sex + 25.984$, was found. The correlation coefficient(r) of body fat rate between developed system and HTM1000plus(BionetTM) was 0.928. HTM1000plus is a commercially available and approved by KFDA. These results indicated that developed system is reliable for estimation of body fat rate. Although developed system is the PDA based miniaturized, it shows good performance comparing with other commercial product.

Key words : Lean body mass, Bioelectrical impedance analysis(BIA), PDA

서 론

복잡하고 바쁘게 돌아가는 현대인의 생활 속에서도 자신의 건강에 대한 관심은 꾸준히 증가하고 있다. 사회가 발전하고 경제적으로 풍족해짐에 따라 과도한 칼로리 섭취로 인한 비만 환자들이 급증하고 있고 이는 당뇨 및 뇌졸중, 심장병 등 성인병의 중요한 위험 인자로 작용한다. 현대인의 다이어트 정보에 대한 요구는 점점 더 커지고 있으며, 일상생활 중 언제 어디서나 자신의 건강 상태를 확인하고 싶어 한다. 이에 비만의 정도를 나타내는 체지방률(body fat rate)을 편리하고 정확하게 측정하는 휴대용 시스템이 요구되고 있는 실정이다. 휴대용 생체 신호 계측시

스택은 국내외 많은 연구진 및 관련 회사에서 여러 형태로 눈부신 발전이 있었지만, 소형화 및 휴대화에 중점을 두어 마이컴 기반의 생체 신호 계측 부분에 국한 되어 있고, 그 측정 결과에 대한 진단 및 처방 관련 알고리즘 적용에 한계가 있는 것이 현실이다. PDA(Personal Digital Assistant)란 휴대용 컴퓨터의 일종으로, 최근 몇 년간의 급속한 발전은 단순한 메모장 및 전자수첩 기능의 차원에서 벗어나 '포스트 PC'의 대표적인 정보수단으로 각광 받고 있으며, 여러 분야로의 응용이 가능하다는 장점이 있다.

신체의 체지방을 평가하는 일은 개인이나 집단의 건강·영양 상태를 진단하는 데 있어 중요한 인자로 쓰인다. 신체의 체지방을 분석하여 산출하는 여러 가지의 방법 중에 수중 체밀도법(Hydro-densitometry)은 피검자가 수중에서 무게를 측정 후 인체의 비중으로부터 체지방을 계산하는 방법으로서 지방은 지방 이외의 성분 즉, 체지방(Lean Body Mass : LBM) 보다 가볍다는 원리를 이용한

것이다[1]. 이 방법은 체지방을 측정함에 있어 정밀도가 높아 표준의 방법으로 사용되고 있으나 측정 방법이 까다롭고 시간과 공간적 제약이 많다는 단점이 있다. 이에 반해 피하 지방의 두께를 측정하는 초음파법과 피지후법은 비교적 측정이 편리하다는 장점이 있지만, 검사자의 숙련도에 많은 영향을 받아 측정 결과에 대한 신뢰성에 문제가 있다[2,3]. 그 외 핵자기 공명(Nuclear Magnetic Resonance: NMR)과 DEXA(Dual Energy X-ray)를 이용한 이미지 분석법[4], 그리고 TOBEC(Total Body Electrical Conductivity)[5,6]과 같은 방법은 측정 기기들의 부피가 크고 비싸며 측정 방법이 복잡하므로 일반인들이 간편하고 경제적으로 사용하기 어렵다는 단점이 있다. 반면에 생체 임피던스 분석법(Bioelectrical Impedance Analysis : BIA)을 이용한 체지방 측정법은 종래의 방법 보다 안전하고 편리하며 빠른 측정 결과를 볼 수 있다는 장점이 있고 비교적 간단한 측정 원리에 의해 기기의 소형화가 가능하다. 임피던스 측정법은 인체의 성분들이 교류 전류에 대해 서로 다른 전기적 및 유전적 성질을 가진다는 이론에 기반하여 초기에는 인체의 체수분을 측정하기 위해 고안되었지만, 이후 체지방 및 체지방 측정을 위한 연구가 Nyboer 등에 의해 진행되었다[7,8]. 예를 들어 많은 수분을 포함하고 있는 근육이나 혈액과 같은 성분들은 높은 전도성을 보이는 반면 지방이나 뼈, 폐 등과 같이 수분을 거의 포함하고 있지 않은 성분들의 전도성은 상당히 낮다. 이와 같은 인체 성분의 특성을 이용하여 인체 내로 약한 교류전류를 흘려주고 인체 임피던스를 측정한다. 본 연구에서 체지방 측정용에 사용하고자 한 체지방 측정 방법은 부분 4전극 임피던스 법으로써, 체지방 측정에 있어 98%이상의 신뢰성이 있으며 가장 많이 사용되는 방법이다.

따라서 본 연구의 목적은 PDA와 결합 가능한 PDA 크래들 형태의 체지방 측정 모듈을 개발하고 PDA와 연동되는 전체적인 시스템 운영 소프트웨어를 개발하는 것이다. 그리고 KFDA(Korea Food & Drug Administration) 승인을 받아 시중에 시판되고 있는 HTM1000plus (Bionet사) 기기에서 측정된 체지방 값과 본 시스템에서 측정된 생체 임피던스 값을 이용하여 체지방량을 구하는 회귀식을 도출하고, 각각의 기기에서 측정된 체지방률 사이의 관계 계수를 구하여 본 시스템의 신뢰성을 나타내고자 한다.

시스템 구성

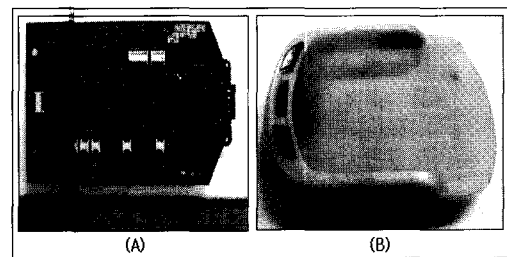
시스템의 구성은 측정하고자 하는 피검자의 생체 임피던스 신호를 받아들여 증폭 및 가공하여 PDA와 연동하는 측정 모듈 부분과 그 입력받은 신호를 체지방 산출 알고리즘에 적용하여 GUI(Graphic User Interface)를 통하여 진단 및 결과를 나타내는 소프트웨어 부분으로 나누어진다. 측정 모듈은 PDA 크래들 형태로 제작이 되었고, 소프트웨어는 WindowCE3.0 운영 체제를 사용하는 PDA에 eMbedded Visual C++3.0을 사용하여 개발하였다.

측정 모듈

본 연구에서 체지방 측정을 위해 개발한 시스템은 휴대용 계측기에 중점을 두어 PDA 크래들 형태의 일체형으로 제작 되었다[그림 1]. 또한 최대한 안정적이고 정밀한 측정을 위하여 각 부품 사양 검토 및 최적 동작에 관한 연

구를 선행하였으며 휴대용 시스템에 적합하도록 회로 설계 시부터 최적화된 부품 배치 및 저 전력소비에 중점을 두었다.

체지방 측정 모듈에 사용된 마이크로 컨트롤러는 ATMEGA63을 사용하였고 전체 블록 다이어그램은 [그림 2]와 같다. 마이크로 컨트롤러를 통하여 A/D 변환부 및 I/O 포트, 50kHz 정현파 발생부, RS-232C 직렬 통신을 제어하여 PDA에서 전송되는 명령에 정확히 동작하도록 구성하였다. 모듈의 전원은 PDA의 4.2V 자체 전원을 DC-to-DC 변환기에 의해 5V로 승압하여 사용하였다. 체지방 측정은 4개의 전극을 통하여 전류 변환부의 정류원(Q1)에서 피검자의 신체로 50kHz, 300 μ A의 전류를 흘려주고 전압 측정부(Q2)에서 측정되는 전압을 받아들여 옴의 법칙(Ohm's law)에 의해 생체 임피던스 값을 산출한다. 대부분의 단일 주파수 생체 임피던스 측정기(single frequency BIA)는 측정 주파수로서 50kHz를 사용하는데 이는 인체에 해가 없는 안정성을 고려하였을 뿐만 아니라 근육 조직(muscle tissue)의 평균 특정 주파수(mean characteristic frequency)를 나타내기 때문이다[13,14]. 제작된 타겟 보드의 검증 및 예비 실험을 위하여 National instrument사의 LabVIEW 프로그램을 제작하여 PC(personal computer)와의 RS232C 인터페이스를 구현하였다. [그림 3]에서 볼 수 있듯이 타겟 보드에 내장된 300 Ω 및 1200 Ω 기준 저항 값과 생체 임피던스 값을 12bits A/D 변환 후 전송된 데이터를 LabView 인터페이스 상에서 확인 할 수 있었다. PDA에 전송되는 임피던스 데이터는 20번의 샘플링 값 중에서 5번째부터 14번째까지의 데이터를 평균한 값이므로 측정 초기와 후기에서 발생할 수 있는 측정 오차를 제거해 주었다. 측정 시 피검자의 전극에 대한 접촉이 떨어지거나(Open Current), 잘못 측정되었을 경우 PDA에 에러 코드를 전송하여 재 측정 할 수 있도록 하였다. 또한, 보정 회로(calibration circuit)를 통하여 매 측정 시마다 300 Ω 과 1.2k Ω 의 기준 저항(reference resistors)을 측정 후 생체 임피던스를 측정함으로써 온도와 습도 등 주변 환경에 따른 측정 오차를 최소화 하였다.



(A) Target board, (B) Cradle module

그림 1. 제작된 타겟 보드 및 측정 모듈
Fig. 1. Developed target board and easurement module

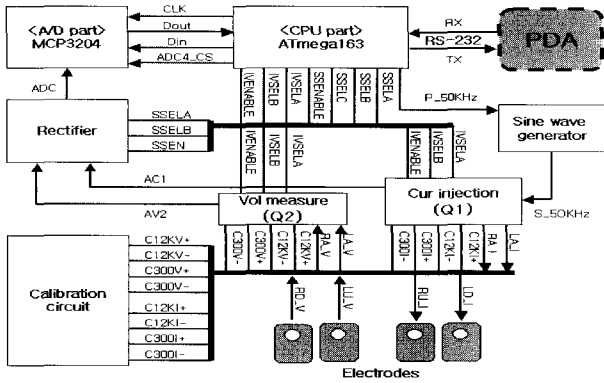


그림 2. 체지방 측정 모듈 블록 다이어그램
Fig. 2. Block diagram of the impedance body fat module

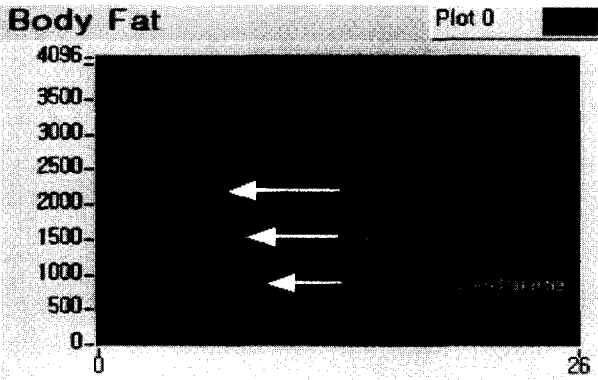


그림 3. LabVIEW 인터페이스를 통한 타겟 보드 시뮬레이션
Fig. 3. Simulation of the target board via LabVIEW interface

측정 및 진단 소프트웨어

본 시스템에서 운영되는 소프트웨어는 WindowsCE3.0 운영체제를 사용하는 iPAQ H3600(Compaq사) PDA를 기반으로, MicrosoftTM의 eMbedded Visual C++3.0을 사용하여 개발하였다. 프로그램의 구성은 Dialog 기반으로 작성을 하였고, 각각의 Dialog는 메모리의 점유 및 해제가 유연한 Modalless Dialog를 사용하였다. 이는 비교적 작은 메모리 공간(64MB)을 가지고 있는 PDA에서 최적의 프로그래밍 방법이라 생각하고 결정하였다. 소프트웨어 GUI는 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 버튼 형태로 제작하였다. [그림 4]에서 보는 바와 같이 메인 창에서 피검자의 기본 정보(성명, 성별, 키, 체중, 나이)를 입력받아 텍스트 파일(피검자 성명.TXT)로 데이터베이스화하였고, 매 측정 때마다 측정 일자, 측정 시간, 결과 값을 저장하여 체지방의 날짜별 변화를 쉽게 확인할 수 있게 하였다. 측정 모듈과 연동하는 운영 소프트웨어의 개요도는 [그림 5]에 도시하였다. 측정 모듈과의 통신을 위한 통신 프로토콜 초기화를 비롯하여 측정 모듈로부터 전달된 생체 임피던스 데이터의 수신, 분석 작업을 한다. 그리고 측정 전에 저장된 사용자 정보와 임피던스 정보를 체지방 산출 회귀식에 대입하여 체지방 및 체지방률에 대한 진단 및 결과를 GUI를 통해 보여준다. 체지방률에 따른 비만 진단 가이드의 적용에 있

어 정확한 기준이 없는 실정이므로, 임피던스 방법을 이용한 체지방 기기에서 일반적으로 사용되는 비만 진단 기준을 사용하였다[표 1].



그림 4. 사용자 인터페이스
Fig. 4. User Interface

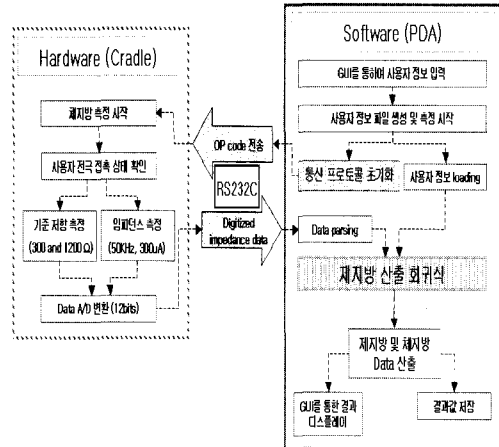


그림 5. 소프트웨어 구성도
Fig. 5. Block diagram of the software module

표 1. 체지방률에 따른 일반적인 진단 기준
Table 1. Diagnosis of body fate rate

	male	female
체지방률 평균 이하	15% 미만	20% 미만
정상	15~18%	20~25%
경비만	19~24%	26~29%
비만	25% 이상	30% 이상

피검자 및 측정 방법

한양대학교 의공학교실 및 의과대학 학생들 중 실험에 참가하고자 하는 20세에서 32세 사이의 남자 53명과 여자 10명을 대상으로 실험하였다. 이들의 신체적 특성은 표 2

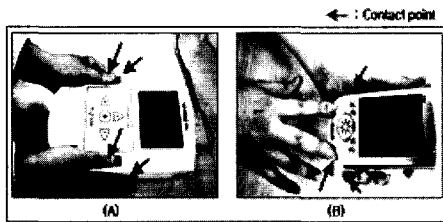
에 나타내었다. 임피던스를 이용한 체지방 측정은 인체의 수분 함유량에 따라 변화가 많으므로 모든 실험자들에 측정 시로부터 24시간 전에는 운동이나 음료, 음주를 피할 것을 주의했다[9]. 모든 피검자를 대상으로 설문지를 이용하여 병원 이력에 대한 간단한 질문에 답하게 하였고, 최근 급격한 체중 감소나 증가가 있는 사람들은 실험에서 제외하였다.

표 2. 피검자 63명의 신체 특성

Table 2. Physical characteristics of 63 Subjects

	male (n=53)		female (n=10)	
	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range
Age(year)	25.2±3.6	20~32	26.0±2.3	23~31
Weight(kg)	73.5±10.3	52~102	51.1±4.1	42~60
Height(cm)	176.0±5.0	164~187	160.3±3.5	157~167

체지방 측정 방법은 피검자가 편안히 앉아 양팔을 편 상태에서 체지방 측정 모듈의 4전극에 정확히 접촉할 수 있도록 지시하였다. 전극의 위치는 HTM1000plus의 경우 양손 엄지와 검지에 전극이 부착될 수 있게 기기의 양 측면에 전극이 배치되어 있고, 본 시스템의 경우 모듈을 파지했을 때 쉽고 정확하게 측정할 수 있도록 기기의 하단 상면과 양 측면에 배치하여 왼쪽 손바닥 양 측면과 오른손 중지와 검지가 부착될 수 있도록 하였다[그림 6]. 또한 측정 시 전극에 접촉되어 있는 양 손이 서로 붙지 않고 떨어져 있도록 유의하였다. 측정 횟수는 각각의 기기에서 총 3번씩 실시하여 각각의 데이터의 평균값을 산출하였다.



(A)HTM1000plus, (B)developed system

그림 6. 전극의 배치 및 측정 방법

Fig. 6. Arrangement of the electrodes and easurement methods

결 과

63명의 피검자들의 측정 결과는 표 3과 같다. 임피던스(Z)는 제작된 기기로부터 측정된 실제 피검자의 임피던스 값이며 체지방량은 피검자의 기본 정보와 함께 측정된 임피던스 값을 회귀식에 대입하여 산출된 값이다. 측정된 결과에서 임피던스가 남자보다 여자가 높은 이유는 일반적으로 남자에 비해 여자의 경우 체지방이 많기 때문으로 사료된다[9,10]. (A)와 (B)로 표기된 측정값은 각각 HTM1000plus 기기와 본 연구에서 제작된 기기에서 측정된 데이터를 나타낸다. 본 연구에서 제작된 기기의 체지방 산출을 위한 회귀식은 피검자의 신장 및 체중, 나이, 성별 등 기본 정보와 함께 측정된 임피던스를 변수로 하여, HTM1000plus 기기에서 측정된 체지방량 데이터와의 선형

회귀분석을 통하여 식(1)과 같은 관계식을 얻을 수 있었다.

$$LBM(Kg) = 0.0005 * H^2 - 0.0160 * Z + 0.3920 * W - 0.0684 * A - 5.8141 * S - 25.984 \quad (1)$$

(H:신장, Z:임피던스, W:체중, A:나이, S:성별)

표 3. 피검자 63명의 측정 결과

Table 3. Measured values of 63 subjects

	male (n=53)		female (n=10)	
	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range
Impedance (Z) (Ω)	707.1±93.2	1016.0~518.8	910.4±79.6	1073.6~827.6
LBM (A) (kg)	57.4±5.8	75.1~42.9	37.4±2.3	41.5~34.3
LBM (B) (kg)	57.3±5.5	72.4~43.1	36.7±2.4	40.5~33.0
Percent fat (A) (%)	21.6±3.8	29.1~11.6	26.8±2.0	31.1~24.6
Percent fat (B) (%)	21.4±4.6	30.9~9.1	28.1±2.3	32.8~25.1

(A) HTM1000plus , (B) developed system

체지방 산출 회귀식의 도출에 있어 성별에 관련된 S항은 남자와 여자에 각각 0과 1을 적용하여 산출하였고, 여자의 경우 성별 항이 적용되어 남자의 경우보다 체지방량이 낮게 나타남을 알 수 있었다. 표 4는 피검자 63명에 대한 각 변수들 간의 상호 상관계수를 나타낸 것이다. 체중과 체지방의 상호 상관 계수가 제작된 기기(r =0.943)와 HTM1000plus(r =0.955) 양쪽 모두에서 가장 높게 나타나 체지방 무게를 산출하는데 가장 중요한 인자임을 알 수가 있다[그림 7]. 피검자의 임피던스(제작된 기기: r =0.855, HTM1000plus : r =0.837) 및 신장의 체중 항(제작된 기기: r =0.817, HTM1000plus : r =0.809) 또한 체지방과의 상관 계수가 양쪽의 기기 모두에서 비교적 높게 나타나 체지방 무게와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. 그러나 피검자 연령과의 관련성은 상당히 낮은 수치를 보임을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 제한된 연령대의 피검자 군을 형성했기 때문일 수도 있지만, 이전의 연구[9]에서도 체지방과 연령의 상관 계수는 그리 밀접한 관련이 없음을 확인하였다. 체지방량으로부터 체지방률을 산출하는 방법은 식(2)의 관계식처럼 체중에서 체지방량을 뺀 후 산출되는 체지방을 체중의 백분율로 나타냄으로써 간단하게 구할 수 있다.

$$BFR(\%) = \frac{weight - LBM}{weight} * 100 \quad (2)$$

(BFR : body fat rate, LBM : lean body mass)

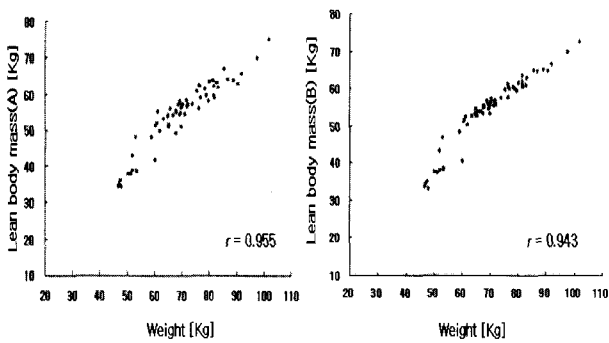
이에 표 4에서 나타난 바와 같이 각각의 시스템에서 산출된 체지방률 간의 상호 상관 계수가 0.928로 상당히 높음으로써 본 연구에서 제작된 기기 및 회귀식의 정확성 및 신뢰성을 간접적으로 확인 할 수 있었다[그림 8]. 또한 각각의 시스템에서 남자와 여자에 대한 체지방률 상호 상관 계수가 각각 0.922와 0.929로 나타나 남자의 경우 비교적 낮았지만 성별에 따른 각 기기간의 차이는 크게 나타나지 않았다.

표 4. 변수들 간의 상호 상관 계수

Table 4. Correlations among each variable for all subjects

	age	height ²	weight	Z	LBM(A)	LBM(B)	BFR(A)	BFR(B)
age	1							
height ²	-0.208	1						
weight	0.112	0.724	1					
Z	-0.323	-0.482	-0.777	1				
LBM(A)	0.054	0.817	0.955	-0.837	1			
LBM(B)	0.070	0.809*	0.943*	-0.855*	0.991	1		
BFR(A)	0.181	-0.230	0.220	0.137	-0.073	-0.018	1	
BFR(B)	0.120	-0.156	0.265	0.145	-0.007	-0.065	0.928*	1

(A) HTM1000plus, (B) developed system



(A)HTM1000plus, (B)developed system

그림 7. 체중과 체지방량의 상관관계

Fig. 7. Correlation between the weight and lean body mass

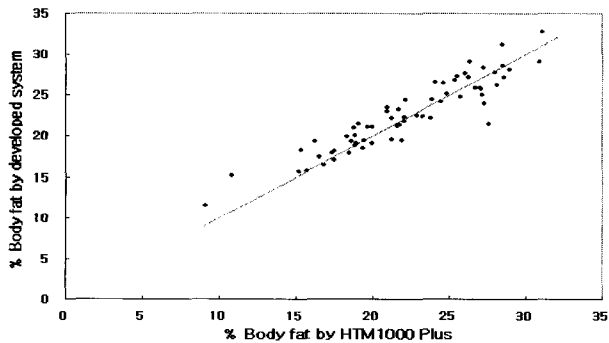


그림 8. 제작된 시스템과 HTM1000plus 기기에서 측정된 53명 피검자의 체지방률의 상관관계 (r = 0.928)

Fig. 8. Correlation of the Body fat rate between the developed system and HTM1000plus for all subjects. (r = 0.928)

결론 및 고찰

수중 체밀도법은 신체의 체지방량 산출을 위한 가장 정확한 방법으로 사용되지만, 그 실험 방법이 상당히 까다롭고 피검자의 폐에 남아있는 공기의 양이나 장내 가스량 등을 측정해야 하므로 검사자와 피검자에게 많은 시간과 노

력을 요한다. 이에 본 연구에서는 수중 체밀도법을 사용하여 제작된 bionet사의 HTM1000plus 기기의 데이터를 기반으로 회귀식을 제작하여 비교하였다.

임피던스 방법을 이용한 체지방 측정에 있어 부분 4전극 임피던스 법은 신체의 일부분에서 임피던스를 측정하여 몸 전체의 체지방률을 산출해내는 방법으로써 상체 비만형과 하체 비만형에 대해 오차가 생기는 경우가 있지만, 신체가 고른 체지방의 분포로 구성되어 있다는 가정을 전제로 하였다.

회귀식 제작에 있어 Segal 등[12]이 제시했던 임피던스(Z)과 신장 제곱항(Height²)을 각각 따로 분리하여 체지방을 유추하는 것이 Lukaski[11] 등이 밝힌 Height²/Z 항보다 상관 계수가 더 높게 나왔다. 이는 사람의 몸이 여러 가지 다양한 전기적 특성을 가지는 생리학적 조직들과 신체 부위마다의 근육들의 위치 및 형태, 그리고 팔과 다리, 몸통 등의 단면적이 일정하지 않다는 여러 가지 변수들을 가지고 있는 상태임에도 사람이 원통형 도체라 가정하고 임피던스(Z) 및 길이(L)를 이용하여 체적을 구하는 공식을 적용했기 때문이라 판단된다. 이런 가정들은 체지방을 산출함에 있어 생체의 많은 변수가 있음을 감안할 때 이 기본 공식 또한 정확한 것이 아니라 사료된다. 이에 Segal[12]이 제시한 회귀식은 체지방 및 연령, 키, 몸무게, 거주 지역 등 다양한 분포를 가진 1576명의 피검자(17~62세, 3~56% 체지방 분포)를 대상으로 미국 내의 네 곳의 연구실에서 각각의 회귀식을 제작한 후 통합된 하나의 회귀식을 제작하는 연구를 수행하였으므로 가장 정확한 방법이라 판단했다.

본 연구에서 체지방량을 추정하는데 여러 예측 인자들 가운데 체중과 임피던스, 신장의 제곱 항이 가장 중요한 인자임을 확인했다. 이 인자들을 주축으로 하여 회귀식을 제작하였고, HTM1000plus 기기와의 체지방률 상호 상관 계수가 0.928로 상당히 높게 나타남으로써 PDA 기반의 소형화된 휴대용 기기임에도 체지방 측정에 있어 정확도 및 신뢰도를 간접적으로 확인할 수가 있었다.

향후 PDA 기반의 휴대용 생체 신호 계측 및 분석 기술은 휴대 및 보관의 편리함과 함께 재택 진료 시스템 및 병동 내 환자 모니터링과 같은 일상생활 중에서 생체 신호 계측 등 여러 연구 분야의 미래 의료 시스템으로의 응용이 가능하리라 전망한다.

참 고 문 헌

1. J. Brozek, F. Grande, J.T. Anderson, and A. Keys, *Densitometric analysis of body composition*, Ann NY Acad Sci, vol. 110, 113~140, 1963
2. E.M. Haymes, H.M. Lundgreen, J.L. Loomis, and E.R. Buskirk, *Validity of the ultrasonic technique as a method of measuring subcutaneous adipose tissue*, Ann Human Biol, vol.3, pp245~251, 1976
3. S.G. Lohman, *Skinfolds and body density and their relation to body fatness : a review*, Human Biol, vol.53, PP 181~225, 1981
4. G.A. Borkan, S.G. Gerzof, A.H. Robbins, D.E. Hulth, C.K. Silbert, and J.E. Silbert, *Assessment of abdominal fat content by computer tomography*, American Journal of Clinical Nutrition, vol.36, pp 172~177, 1982
5. M.L. Fiorotto, *Measurements of total body electrical conductivity for the estimation of fat and fat-free mass*. Whitehead & A. Prentice (Eds.), *New techniques in nutritional research*, pp 281~302, San Diego, CA: Academic., 1991
6. R.C. Funk, B.F. Kerekes, & R.C. Lanphier, *Total body electrical conductivity: New developments and expanded applications* In J.G Kral & T.B. Van Itallie (Eds.), *Recent developments in body composition analysis: Methods and applications*, pp 61~74, London : Smith-Gordon., 1993
7. E.C. Hoffer, C. Meador, & D.C. Simpson, *Correlation of whole-body impedance with total body water volume*. Journal of Applied Physiology, 27, pp 531~534, 1969.
8. J. Nyboer, *Percent body fat by four terminal bio-electrical impedance and body density in college freshmen*. In *Proceedings of the Vth International Conference on Electrical Bio-impedance*, Distributed by business for Academic Societies, Japan. 1981.
9. D.W. Kim, C.G. Song, and S.K. Hwang, *Measurement of body fat by Impedance Technique*, Journal of KOSOMBE, vol. 13, No. 2, pp 133~139, 1992
10. Roche, Alex F., et al. *Human body composition*, Human Kinetics (Sd), 1996.
11. H.C. Lukaski, P.E. Johnson, W.W. Bolonchuk, & G.I. Lykken, *Assessment fat mass using bioelectric impedance measurements of the human body*. American Journal of Clinical Nutrition, vol.4, pp 810~817, 1985
12. K.R. Segal, M.D. Van Loan, P.I. Fitzgerald, et al., *Lean body mass estimated by bioelectrical impedance analysis : A four site cross validation study*. American Journal of Clinical Nutrition, vol. 47, pp 7~14, 1988
13. L.A. Geddes, L.E. Baker, *The specific resistance of biological material: A compendium of data for the biomedical engineer and physiologist*. Medical and Biological engineering and Computing, 5, pp 271~293, 1967
14. R.G. Settle, K.R. Foster, B.R. Epstein & J.L. Mullen, *Nutritional assessment: Whole body impedance and body fluid compartments*. Nutrition and Cancer, 2, pp 72~80, 1980