

체지방측정이 가능한 전자식 체중계의 개발

Development of body-fat measurable electronic scale.

최 병 상* 김 일 환** 박 찬 원***

Choi, Byung-Sang, Kim, Il-Hwan, Park, Chan-Won

Abstract

The purpose of this study is to design a body-fat measurable electronic scale which can measure body impedance and weight. The hardware configuration of this system for the body-fat measurement includes a sinewave constant current generator, an analog switch circuit and a microprocessor with peripheral interface as well as electronic scale circuit. And the dedicated software is also designed for calculating body fat and body composition analysis from the result of the measurement.

키워드 : 전자식체중계, 체지방측정

Keywords : Electronic scale, body-fat measurement

1. 서론

최근 센서기술의 급속한 발전으로 중량센서와 인체의 임피던스를 측정하는 기술이 많은 발전을 하여왔다. 또한 생활이 풍요해지면서 과제중에 대한 많은 관심을 가지게 되어 비만의 주원인인 체지방량의 측정이 의료분야 및 상업적으로 중요한 기술로 대두되고 있다. 인체의 체지방량에 관한 정보는 스포츠 및 운동과학에서 운동프로그램 진화에, 그리고 병원 등에서 환자의 영양상태 평가를 위해 신체구성의 측정 및 평가에 필수적이다. 이에 대한 기존의 방법으로는 체수분법, 칼슘법, 뇨중크레아틴법, 중성지방성법, CT-scan 법, 핵자기공명영상법(MRI), 초음파법에 의한 피하지방두께측정법, 이중에너지 X-선 흡수법(DEXA) 등이 개발되어 유용한 평가법으로 알려져 왔으나, 비용이 많이 들고, 복잡하며 고도의 기술을 요하기 때문에 실용성이나 경제성에 다소 문제가 있다. 최근 새로운 체지방량 측정 방식으로 생체전기임피던스방법(Bioelectrical Impedance Analysis: 이하 BIA)이 개발되어, 체지방률(%fat)을 평가하는 가장 일반적인 방법의 하나로 활용되고 있다[1][2]. 이 BIA 측

정법은 측정자의 연령, 성별, 체중, 신장, 그리고 신체 임피던스를 구하여 체지방을 측정하는 방법으로 신체에 일정주파수의 전류를 통과시켜 내부 임피던스를 구하고, 이 임피던스와 다른 측정값과의 관계로부터 체지방량을 측정하는 방법이다[3]. 그러나 현재 시중에 나와있는 BIA 측정 기기들은 대부분 복잡한 시스템으로 구성되어 가격의 부담이 커서 일반가정용 또는 소규모사업용으로는 적합하지 못한 단점이 있어 아직 일반용으로 보급이 되고 있지 못하고 있는 실정이다.[4] 이에 본 연구에서는 기존의 전자식 체중계에 체지방측정을 위한 회로를 추가하는 최소한의 경제적인 회로를 구성하고 다양한 표본대상의 의학적 측정데이터를 기본으로 하는 적절한 소프트웨어로 구성이 간단하면서 경제적인 체지방측정이 가능한 체중계를 개발하였다.

2. 시스템의 설계

2.1 하드웨어의 구성 및 동작

2.1.1 전체하드웨어의 구성

본 연구에서 개발된 시스템은 로드셀 중량센서를 이용한 중량계측부와 정전류를 인체에 흘려 부위별로 전압강하를 측정하고 이를 체임피던스로 변환하여 체성분 분석을 하는 체성분계측부, 측정 시이전스와 측정결과를 표시하는 LCD 표시부, 그

* 강원대학교 전기공학과 석사과정

** 강원대학교 전기전자정보통신공학부 교수

*** 강원대학교 전기전자정보통신공학부 교수

리고 전원부로 구성되어 있다. 그림 1은 본 시스템의 전체 하드웨어구성에 대한 블록도이다.

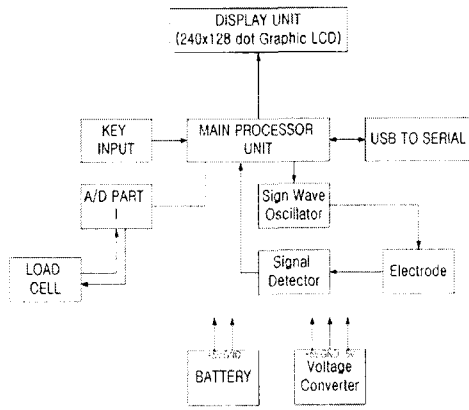


그림 1 개발된 시스템의 구성도

2.2.1 체중측정하드웨어의 구성

체중측정회로는 스트레인 게이지 방식의 하중센서인 로드셀을 이용하여 그림 2와 같이 구성하였다. 로드셀 하중센서는 150kg용량의 정밀급을 사용하였으며 수 μV 수준의 로드셀 출력은 mV레벨로 증폭하는 증폭회로와 저역통과필터로 신호정합회로가 구성되고 이 아날로그신호를 A/D변환하는 24bit의 시그마·델타형 A/D변환기인 AD1240을 사용하였다. A/D변환된 데이터는 메모리를 포함하는 마이크로프로세서에서 체중계량 표시를 위한 데이터를 처리하는 구성으로 설계하였다.

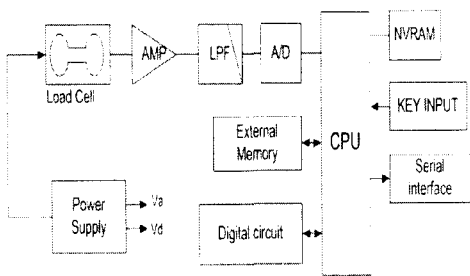


그림 2 체중측정 하드웨어의 구성

2.2.2 체지방측정회로

체지방측정회로는 후술하는 체임피던스 측정방식으로 설계하였는데 정전류를 발생시켜 인체의 손과 발에 공급하고 이때 각 전극에 나타난 전압강을 측정하여 임피던스를 산출하는 방식으로 구성된다. 그림 3은 체지방측정회로이 전체 하드웨어 구성도이다. 좌우의 손과 발에 아날로그 스위치로

스위칭되는 시이컨스에 따라 정전류 사인파를 공급하고 이들 전극에 각각 나타나는 전위차를 측정하는 일련의 동작구성을 수행하는 회로를 마이크로프로세서에서 제어하며 측정된 임피던스는 체중 측정데이터와 입력된 피측정자의 나이 성별등의 데이터와 함께 소프트웨어 보정 알고리즘으로 체지방량을 표시하게 된다. 이하 각 주요부분의 구성과 동작은 다음과 같다.

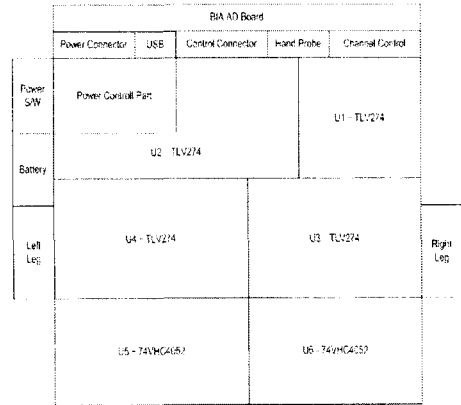


그림 3 체지방측정 하드웨어 구성도

(a) 정현파 정전류원 발생기

그림 4는 손과 발의 전극에 정현파 정전류를 흘려주기 위한 전원 발생회로이다. 구형파클럭입력을 2차로 구성된 밴드패스필터로 정현파로 변환시키고 이를 증폭한 후 정전류구동전원으로 변환하여주는 회로로 구성하였다. 발생된 정전류는 측정전극을 통하여 인체에 흘려주게 되는데 전극에 나타난 전압을 측정하여 체임피던스 성분을 환산하게 된다

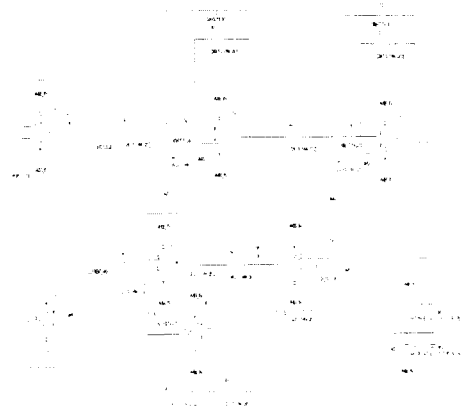


그림 4 정현파 정전류원 발생기 회로

(b) 아날로그 스위치 회로

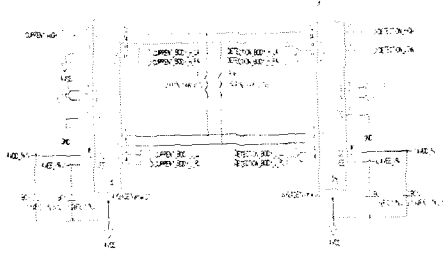


그림 5 아날로그 스위치 회로도

그림 5는 2개의 74VHC4052로 구성되는 아날로그 스위치회로이다. 아날로그 스위치의 역할은 정전류를 측정전극을 통하여 마이크로프로세서로 제어되는 시이퀀스에 따라 각각의 세그먼트(제입피턴스측정 부분)로 연결시켜주는 역할을 하고, 그 임피던스에 의해 발생하는 전압 성분을 다시 아날로그 회로 부분으로 스위칭 시켜 주는 기능을 한다.

2.2.3 프로세서 및 통신부

포트의 그림6은 프로세서부분의 회로도이다. CPU는 Texas Instrument사의 MSP430F149IPM을 사용 하였으며 클럭주파수는 8MHz이다.

포트의 기본 기능을 사용하는 것은 RX0, TX0, RX1, TX1, A0이고 그 이외의 포트는 일반 입출력 포트로 사용하였다.

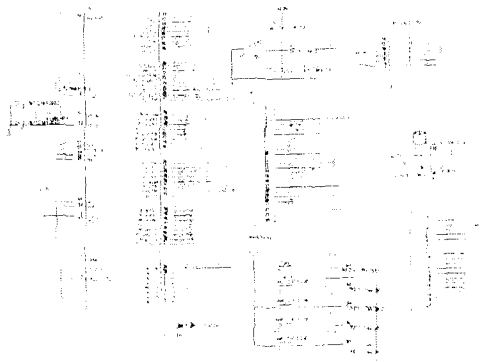


그림 6 프로세서 및 주변회로

디스플레이는 240x128 Mono dot matrix형을 사용 하였으며 8Pin Parallel 통신으로 CPU와 데이터를 주고받는다. 또한 Memory, Call, Enter, Up, Down, Power 의 총 6개의 스위치를 이용하여 사용자가 최소한의 스위치로 제어입력 및 그래픽표시등 전체기능을 수행할 수 있도록 하였다.

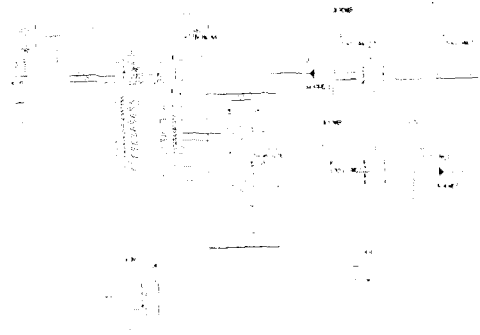


그림 7 USB to Serial 변환 회로도

그림 7은 PC와의 통신을 위한 USB 인터페이스 부분으로 SiLab 사의 USB to Serial Converter CP2101를 사용하였다. USB의 최대 전송 속도는 15,200bps이며 의료용 장비의 인증을 위하여 포트 컨트롤러를 추가하였다.

2.2 소프트웨어의 구성

그림 8은 본 개발에서 구성된 주프로그램의 흐름도를 보여준다. 먼저 시스템의 초기화 후, 체중 측정모드로 동작을 시작하고 사용자의 입력에 따라 체지방측정 모드를 실행한 후, 각종 신체성분을 입력하는 입력모드, 그리고 그 결과를 출력하는 단계를 거쳐 측정된 각종 체성분량을 분석하고 환산하는 과정을 수행하도록 구성하였다.

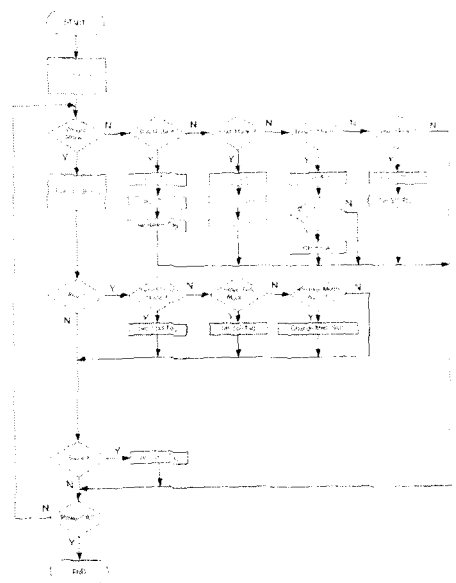


그림 8 주 프로그램의 흐름도

3. 체임피던스의 측정

그림 9는 인체의 전기적인 등가회로와 체임피던스 측정의 원리를 나타낸 것으로 각 신체부분은 저항성분 및 커패시턴스 성분으로 등가화 되며 각각의 임피던스를 측정하여 신체의 구성 성분을 추정하게 된다. 이러한 BIA 측정법은 인체속의 수분과 전기저항과의 전기적 관계를 이용하여 인체의 구성 성분(물, 단백질, 무기질, 지방)에 50kHz의 정현파 정전류를 흘려주어 전극에 측정된 전압으로 그림 10과 같은 사이컨스를 통하여 각 부위별 체임피던스성분을 분석하도록 설계하였다.

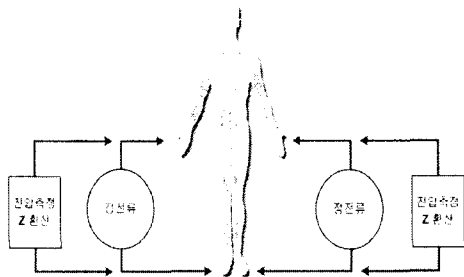


그림 9 제정함 성분 측정원리

- 레퍼런스 저항1에 측정에 사용되는 정전류를 인가하고 저항 양단에서 측정되는 전압의 AD값을 취득한다.
 - 레퍼런스 저항2에 측정에 사용되는 정전류를 인가하고 저항 양단에서 측정되는 전압의 AD값을 취득한다.
 - 인체의 오른쪽 손바닥과 오른쪽 발바닥 사이로 측정에 사용되는 정전류를 인가한다.
 - 오른쪽 손바닥과 발바닥 사이에 나타나는 전압값을 AD 변환한다.
 - 왼쪽 손바닥과 왼쪽 발바닥 사이에 측정에 사용되는 정전류를 인가한다.
 - 왼쪽 손바닥과 왼쪽 발바닥 사이에 나타나는 전압값을 AD 변환한다.
 - 레퍼런스 저항 1, 2와 인체의 오른쪽, 왼쪽에서 취득된 전압의 비율 이용하여 인체의 오른쪽, 왼쪽의 체저항을 계산한다.
 - 기 취득된 체중과 체저항의 측정값과 사용자의 입력 데이터(신장, 연령, 성별)을 가지고 본 체지방 측정기의 공식을 이용하여 체성분을 계산한다.
- 그림 11 은 정전류신호를 인가하기위한 50KHz 의 클럭 발생파형이고 그림 12 은 측정전극에 인가되는 정전류파형을 보여준다.

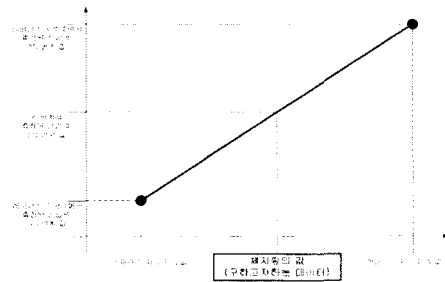


그림 10 체저항측정의 사이컨스

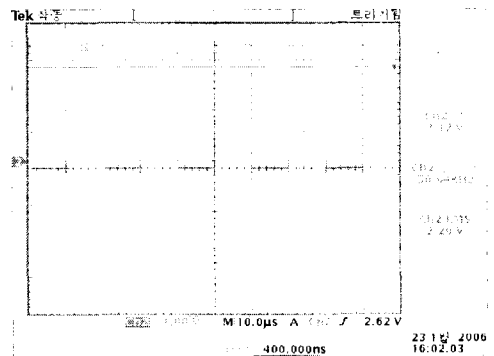


그림 11 50kHz의 구형파

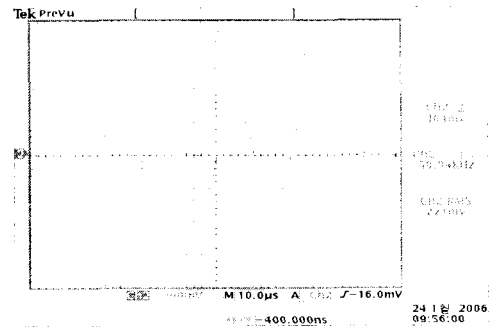


그림 12 정전류파형

4. 각 체성분량의 산출

체중측정과 신체의 각 지수를 입력하여 각종 신체정보의 표시를 다음과 같은 과정으로 산출하였다.

(a) 표준체중

신장과 연령변, 성별 지정 체중 지수를 이용하여 계산식으로 결과를 얻는다.

$$\text{표준체중} = \text{Height(m)} \times \text{Height(m)} \times \text{직정체중지수(연령변,성별)}$$

(b) 적정체중

현재의 근육량과 체지방량을 표준체중과 평균 체성분량을 이용한 표준 근육량, 체지방량과의 차이 값을 구한 뒤, 근육량과 체지방량의 조절치를 산출하게 되고, 조절치와 현재 체중과의 산술연산으로 사용자에게 적정 체중을 제안한다.

(c) 체지방

$$\text{체지방량} = \text{현재 체중} - \text{체지방량}$$

(d) 근육량

$$\text{근육량} = \text{체지방량} - \text{무기질량}$$

표1은 한국인 성인남녀의 다양한 표본으로 산출한 체성분별 적정치이다.

표1 체성분별 적정치

현재체중(100%)			
체지방량			
남자 적정치 : 80~90%			
여자 적정치 : 72~82%			
근육량		무기질량	체지방량
남자 적정치 : 80%	여자 적정치 : 73%		
체수분	단백질	남자 적정치	10~20%
남자 적정치	남자 적정치	5%	여자 적정치
50~70%	20%	여자 적정치	18~28%
여자 적정치	여자 적정치	4%	
45~65%	18%		

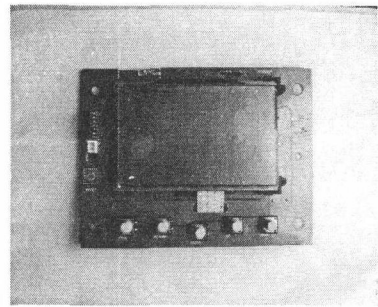


그림 14 Main 회로 앞부분

프로세서를 포함하는 주기판의 앞뒤부분이다. 그림 16은 본연구의 결과로 제작된 시제품의 사진이다.

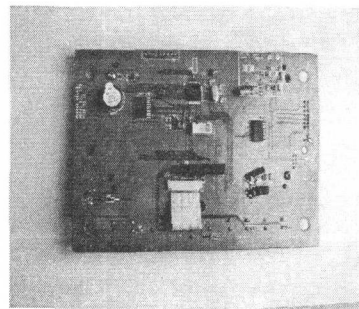


그림 15 Main 회로 뒷부분

5. 제작된 회로 기판 및 시제품의 사진

그림 13은 본 연구에서 개발된 체지방측정회로가 포함된 체중계회로의 회로기판이고 그림 14, 15는

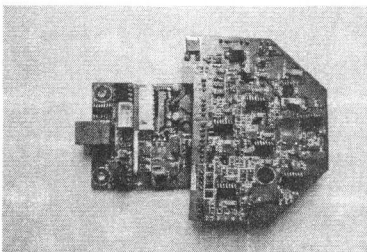


그림 13 체중 및 체지방 측정 회로

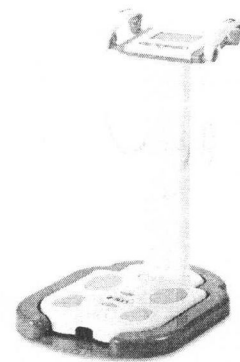


그림 16 완성된 시제품

6. 결론

본 연구에서는 기존의 전자식 체중계의 하드웨어에 손과 발의 측정전극과 체임피던스를 측정하는 최소한의 경제적인 회로를 추가함으로써 기존의 의료분야에서만 사용되던 고가의 체지방분석기를 가정 또는 학교등의 일부 분야에서 손쉽게 사용할 수있는 체지방측정이 가능한 전자식 체중계를 개발하였다. 개발결과, 가격대 성능이 충분히

만족되는 체지방측정검용 체중계의 개발요구를 달성 하였으며, 가정용 및 소규모 사업장예의 보급이 기대됨과 동시에 관련 분야 연구의 활성화에 기여할 수 있으리라 생각된다. 체지방 및 체성분 분석에 관한 표본대상 실험결과와 회기방정식을 도출하는 과정의 소프트웨어에 관한 연구내용은 별도의 논문에서 다루기로 한다.

참 고 문 헌

- [1] Andrew P. Hills and Nuala M. Byrne, "Bioelectrical impedance and body composition assessment", *Mal J Nutr* 4:107-112, 1998
- [2] Rudolph J. Liedtke, "Fundamentals of Bioelectrical Impedance Analysis", 1998
- [3] R. GUDIVIAKA, et al "Single- and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments", *The American Physiological Society*, 1999
- [4] Bodystat, <http://www.bodystat.com>