

## Novel Impedance Method for Analyzing Truncal Obesity

임택균\*\*\* · 서광석\*\* · 정인철\*\* · 전석환\* · 노연식\*\* · 김응석\*\*\* · 윤형로†  
 (Taek-Gyun Lim · Kwang-Seok Seo · In-Cheol Jeong · Suk-Hwan Jun · Yeon-Sik Noh ·  
 Eung-Seok Kim · Hyung-Ro Yoon)

**Abstract** - Truncal obesity associated with insulin resistance and metabolic syndrome increase the likelihood of hypertension, various cardiovascular diseases, hyperlipidemia and coronary heart diseases. International Diabetes Federation (IDF) experts recognized that it is necessary to develop the simple diagnostic tool which is applicable to diagnose truncal obesity worldwide, and proposed the method using a waist circumference but there is a limit to estimate subcutaneous fat distribution. However, waist line is also influenced by total fat capacity less than the intra abdominal fat. The more having severe obesity, the more correlation coefficient between waist line and intra abdominal fat is low. Therefore, this thesis defines a new abdominal impedance measurement position and impedance-index to analysis central obesity. This proposes the new model to estimate abdominal obesity using the abdominal impedance-index and CT images acquired from 160 Korean subjects. The proposed model shows that the abdominal fat distribution has a higher correlation than waist line. (Adj R2 = 0.809, 0.667 and 0.687 with abdominal fat area, visceral fat area and subcutaneous fat area respectively).

**Key Words** : Abdominal Impedance, Metabolic Syndrome, Truncal Obesity

### 1. 서론

비만은 제2형 당뇨병, 이상지혈증, 고혈압 등과 관련되어 사회적으로 많은 문제를 일으키고 있으며, 심혈관계 질환의 위험을 증가시키는 것으로 알려져 있다[1]. 1988년 Reaven은 이러한 인슐린 저항성, 고인슐린혈증, 이상지혈증, 고혈압, 복부비만 등이 복합되어 나타나는 증상을 대사증후군(Metabolic Syndrome)으로 정의하였다[2].

비만과 대사증후군 사이의 정확한 선후 연계 기전은 밝혀져 있지 않으나, 최근 연구 결과에 의하면 국소적인 지방분포, 특히 내장지방의 과잉축적이 대사 질환의 발생에 중요한 역할을 하는 것으로 인식하고 있다[3,4,5]. 따라서 연구자들은 대사증후군과 관련하여 다양한 비만 형태 중 중심성 비만(Central Obesity, 복부비만)을 주목하고 있다. 지방조직은 분포부위에 따라 대사적 특성이 변하는데 내장지방 세포는 피하지방 세포보다 기초 지방 분해율이 높으며, 인슐린의 지방분해 억제작용에 덜 민감한 것으로 알려져 있다[6]. 이로 말미암아 과도한 내장지방 축적은 다양한 경로로 이상지혈증과 고인슐린혈증을 유발하고 심혈관계 질환을 발생하게

하는 주요 원인으로 지적받고 있다. 대사증후군과 관련하여 이러한 내장지방의 중요성을 고려할 때, 정확한 내장지방량의 평가와 지속적인 관찰은 매우 중요하다.

2007년 IDF(International Diabetes Federation)는 대사증후군 발병 소지를 조기 확인하는 것이 예방 조치를 취하는데 매우 중요함을 인식하고 2형 당뇨병과 심장병 발병 위험이 큰 청소년들을 진단하기 위한 새로운 권고사항을 발표했다[7]. 대사증후군 발병 소지가 높은 청소년을 확인하기 위한 진단법도 중심성 비만(허리둘레)을 첫째 요인으로 사용하고 있다. IDF는 비정상 체지방분포에 관한 연구방법으로 DEXA(Dual Energy X-ray Absorptiometry) 검사법과 복부지방 분포 연구방법으로 CT 또는 MRI 영상을 사용한 방법을 제시하였다[6].

본 논문은 IDF가 중심성 비만 진단에 사용하는 허리둘레가 내장지방분포 수준 제시에 한계가 있음을 확인하였으며, 중심성 비만 분석을 위해 복부임피던스 측정을 위한 새로운 전극배치를 제안하고, 요추 4-5수준에서 촬영한 CT 영상에서 얻은 복부 지방분포면적과 체임피던스와의 상관관계를 추정하는 새로운 회귀 방정식을 제안하였다.

† 교신저자, 정회원 : 연세대 의공학과 교수 · 공학박사  
 E-mail : hryoon@yonsei.ac.kr

\* 정 회원 : 연세대 의공학과 공학석사

\*\* 정 회원 : 연세대 의공학과 박사과정

\*\*\* 정 회원 : 연세대 의공학과 공학박사

접수일자 : 2008년 10월 20일

최종완료 : 2009년 2월 10일

### 2.1 실험장치

#### 2.1.1 복부 비만 분석을 위한 전극 배치

체성분 분석을 위해 사용하는 일반적인 체임피던스 측정 은 오른쪽 손목과 오른쪽 발목 사이의 임피던스를 측정한다

(그림 1의 Z1). 체임피던스는 총체액량과 체지방량 등을 추정하는 회귀 방정식의 주요 독립변수로 사용한다. 체임피던스 분석기를 이용해 부위별 지방 분포를 측정하려면 일반적으로 양 손목과 양 발목에 전극을 배치한다. 양 손목과 양 발목에 전극을 배치하면 그림 1의 Z1~Z6까지 6가지 임피던스 측정이 가능하다. 이 중 5개의 임피던스를 선택하여 연령방정식의 해를 계산하면 Z(AR,오른팔), Z(ZL,왼팔), Z(T,몸통), Z(LR,오른다리), Z(LL, 왼다리)의 임피던스를 얻을 수 있다.

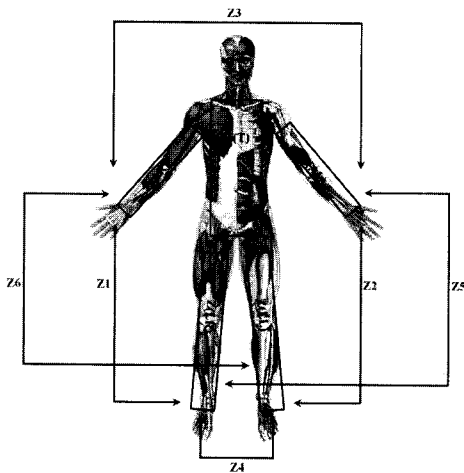


그림 1 체임피던스 파라미터  
Fig. 1 Bio-Impedance parameter

양 손목과 발목에 전극을 사용하여 부위별 임피던스를 측정하는 방법은 Z(T)를 이용하여 몸통의 체성분을 추정할 수 있다. 그러나 이 방법은 복부의 내장지방과 피하지방을 분리하여 예측하는 것이 아니다. 본 논문은 기존 방법의 한계점을 극복하고자 그림 2와 같이 복부 임피던스 측정을 위한 새로운 전극 배치를 제안하고자 한다. 복부 임피던스 측정을 위해 전류인입전극과 전압측정전극을 한 쌍으로 하여 네 개의 전극 쌍을 복부 주위에 배치하였다. 복부 임피던스는 매우 짧은 거리의 임피던스를 측정해야 하기 때문에 전류인입 전극과 전압 측정 전극은 분리해야만 한다. 기본적으로 전극은 배꼽을 기준으로 설치되었으며, 한 쌍의 전극은 복부 전방에 다른 한 쌍은 복부 후방에 배치하고 나머지 두 쌍의 전극은 복부 좌우 측면에 그림 2와 같이 배치하였다. 그림 2의 복부 전극 배치에서 Seg 1, 2, 3, 4 임피던스를 통해 피하지방조직 분포를 분석할 수 있으며, Seg 5, 6 복부를 가로지르는 임피던스로 Seg 1, 2, 3, 4 임피던스보다 내장지방의 분포에 대한 높은 설명력을 갖는다.

전극배치의 위치는 개인에 따라 다르게 적용된다. 실제로 측정값은 개인의 지방 분포에 따라 차이가 생기는데 이를 최소화하기 위해서 실험뿐만 아니라 향후 실용화를 고려하여 그림 3과 같이 벨트형 복부임피던스 어레이 전극을 설계해 실험에 사용하였다. 전극은 체형을 고려하여 3단계(대형, 중형, 소형)로 구별하여 따로 제작되었다.

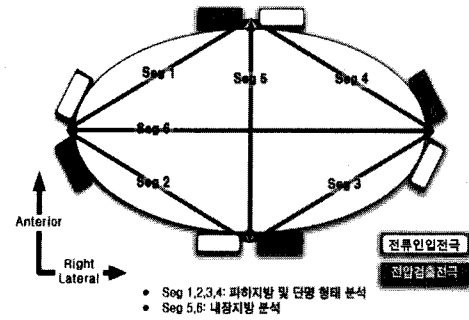


그림 2 중심성 비만 분석을 위한 임피던스 전극 배치  
Fig. 2 Impedance electrodes placed for central obesity analysis

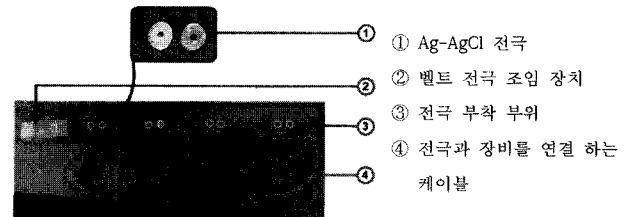


그림 3 벨트형 복부임피던스 전극  
Fig. 3 Belt type abdominal impedance electrodes

복부 비만도가 높은 경우 각 세그먼트의 임피던스는 정상인의 임피던스보다 높다. 또한, Seg 5 임피던스는 Seg 1, 2 또는 Seg 3, 4 임피던스의 합보다 작으며 Seg 1, 2와 Seg 3, 4 지로의 병렬 저항보다 작다. 따라서 Seg 5 임피던스는 Seg 1, 2 지로와 Seg 3, 4 지로 외에 복부 내부 지로로 전류가 흘러 임피던스가 낮아진 것이다. 따라서 Seg 5와 6은 내장 지방조직 분포 정보를 포함한 임피던스임을 알 수 있다.

### 2.1.2 지방량과 임피던스 인덱스 사이의 관계

임피던스 인덱스는 기본적으로 생체조직의 체액량과 비례 관계에 있다. 지방세포는 정상세포보다 세포 내 수분 함량이 적기 때문에 지방조직량을 예측하려면 일반적으로 식 (1)과 같이 체중을 임피던스 인덱스와 함께 사용한다.

$$\text{지방량} \propto \alpha \text{체중} - \beta \frac{L^2}{R} \quad (1)$$

$\alpha, \beta$ 는 양의 실수

체중 외에 사용하는 보조 변수는 신장, 나이, 성별 등을 복합적으로 사용할 수 있다. 특히 IDF에서 복부 지방 분포와 허리둘레 사이의 상관관계를 이용해 진단 파라미터로 사용하고 있다. 따라서 일반적인 체임피던스 분석에서 사용하는 보조 변수 외에 허리둘레 또는 허리둘레 제곱을 사용할 수 있다. 본 논문은 복부 지방 면적을 예측하기 위해 일차

적으로 체중과 임피던스 인덱스를 사용하였고 보조 변수로 신장, 나이, 성별을 같이 사용하였으며, 허리둘레를 독립변수로 사용한 모델을 추가로 분석하였다.

2.1.3 임피던스 분석을 위한 하드웨어 설계

복부 지방분포 분석을 위한 체임피던스 분석기의 제어와 연산을 위해 32 Bit 마이크로프로세서 ARM920T 코어를 내장한 S3C2440(SAMSUNG)를 사용하여 디지털 제어시스템을 설계하였다. 그림 4는 임피던스 측정을 위해 디지털 제어시스템에 내장한 프로그램의 플로차트이다. 자료 수집을 쉽게 하기 위해 체임피던스 분석기는 임피던스를 측정하여 외부 이동용 컴퓨터에 임피던스 측정 결과를 전송하도록 프로그램 되었다. 그림 5는 체임피던스 분석기의 블록다이어그램이다. 1kHz에서 1MHz 사이 임의 주파수를 프로그램으로 선택할 수 있는 정현파 발생장치를 설계하였다. 인입하는 전류를 관찰하여 보상할 수 있는 게환 회로를 통해 1kHz에서 1MHz까지 부하에 관계없이 450 $\mu$ A 전류를 인입할 수 있는 정전류원을 설계하였다. 1kHz에서 1Mhz 사이의 정현파 신호를 RMS 직류 전압으로 변환하였으며, 변환된 직류 전압은 16비트 아날로그-디지털 변환기를 이용하여 디지털 값으로 변환하였다.

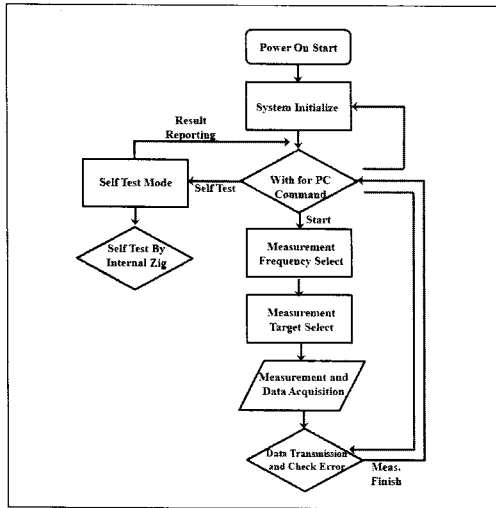


그림 4 임피던스 측정 프로그램  
Fig. 4 Impedance measurement program

체임피던스 전극 쌍을 선택하기 위해 전류인입전극과 전압검출전극은 접촉저항이 매우 낮은 기계식 연결기를 이용하였으며, 자동적으로 개폐가 가능한 전극 쌍 선택 회로를 설계하였다. 본 논문에서 제작한 체임피던스 분석기는 상기 규격을 만족함과 동시에 인체의 감지 가능성을 최소화하도록 모든 측정 범위에서 450 $\mu$ A(1kHz: 80 $\mu$ A)이하의 값을 유지하도록 설계하였으며, 동시에 Seg 1에서 Seg 6을 측정할 수 있는 멀티 채널로 설계되었다. 넓은 대역의 주파수 범위에서 안정된 정전류 발생을 위해 자동이득조절증폭기를 이용하였고, 출력 특성 향상을 위해 정전류 전달(constant current conveyor) 방식의 전압 전류 변환기를 사용하였다.

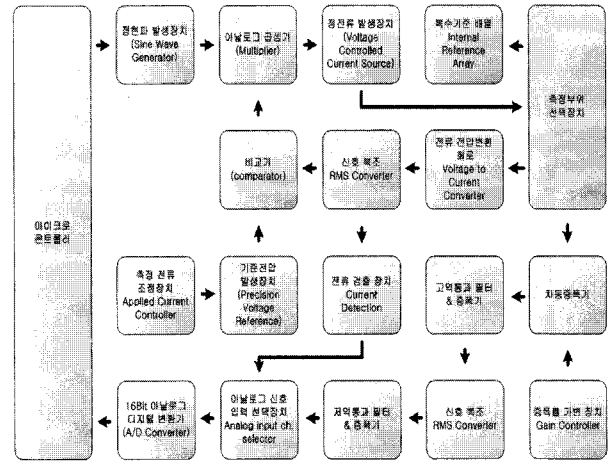
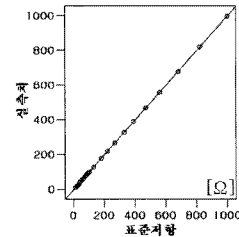


그림 5 체임피던스 측정 시스템의 블록다이어그램  
Fig. 5 Block diagram of a bio-impedance measurement system

설계된 하드웨어의 검증은 위하여 선형성 검사를 수행하였으며, 그림 6에서 보는 바와 같이 표준 저항(10 $\Omega$  ~ 1000  $\Omega$ )에 대한 설계된 시스템의 실제 측정값이 모든 영역에서 선형적인 결과를 보였다. 표 1은 HP사 Agilent 4294A를 이용하여 측정한 임피던스 값과 설계된 시스템이 측정한 임피던스 값을 비교한 것이다. 측정 대상은 Seg 1, 2, 3, 4, 5, 6에서 측정할 수 있는 보편적 저항값을 참조하여 수동소자 모형을 구성하여 이용하였다. 5분 간격으로 10회 측정하여 측정값의 평균 표준편차를 구한 결과 표준편차는 최소 0.023, 최대 0.029의 재현성을 보였다.



표준 저항	10	20	30	39	51	62	75	82	91	100	130	180	220	270	330	390	470	560	680	820	1000
실측치	11	19	28	40	52	66	74	81	90	99	128	177	219	267	327	399	468	557	676	818	998
오차율	10.00	5.00	6.67	2.56	1.96	3.23	1.83	1.22	1.10	1.00	1.54	1.67	0.45	1.11	0.91	0.26	0.43	0.54	0.59	0.34	0.40

그림 6 임피던스 측정 프로그램  
Fig. 6 Impedance measurement program

표 1 체임피던스 측정 시스템의 측정 재현성 실험 결과  
Table 1 Results of reproducibility test of bio-impedance measurement system

	실측치	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	평균	표준 편차
Seg 1	25.70	25.23	25.20	25.19	25.18	25.17	25.18	25.16	25.16	25.16	25.15	25.18	0.024
Seg 2	27.40	27.66	27.70	27.70	27.71	27.72	27.74	27.75	27.76	27.72	27.74	27.72	0.029
Seg 3	26.00	26.82	26.79	26.78	26.77	26.76	26.77	26.75	26.75	26.75	26.74	26.77	0.024
Seg 4	19.90	19.65	19.63	19.62	19.61	19.60	19.60	19.59	19.59	19.58	19.58	19.61	0.023
Seg 5	28.30	28.19	28.16	28.15	28.14	28.13	28.14	28.12	28.12	28.12	28.12	28.14	0.023
Seg 6	23.50	23.99	23.97	23.95	23.94	23.93	23.94	23.92	23.92	23.92	23.92	23.94	0.024

복부 임피던스 측정을 위해 낮은 임피던스 범위와 사지를 포함한 부분 체임피던스 측정을 위해 높은 임피던스 범위까지 측정 가능하게 설계하였다. 16 Bit 아날로그 디지털 변환 장치를 사용하였으며 8개의 복수보간을 위한 기준저항을 이용하였다. 8개의 복수보간 기준저항은 3Ω~ 1500Ω 이며, 가장 넓은 범위에서 초기 측정하여 1차 측정된 체임피던스 값에 따라 최적의 복수보간 표준저항을 설정 실측하도록 설계하였다.

2.2 실험 대상 및 방법

2.2.1 실험 대상

본 논문의 실험에 참여한 실험대상의 신체 기초 정보는 표 2와 같다. 10대에서 70대까지 여자 84명, 남자 76명(총 160명)이 실험에 참여하였다. 여자 실험군의 평균 나이는 38.5세였으며 최소 10세 최대 74세였다. 남자 실험군의 평균 나이는 37.6세였으며 최소 9세 최대 70세였다. 그 중 남자 실험 참여자 중 2명은 복부 임피던스 측정 시 피부 각질 문제로 임피던스 측정의 오류가 발생하여 실험 분석 대상에서 제외하였다.

여자 실험군의 평균 허리둘레는 74.6cm이고 허리둘레가 IDF에서 제시한 중심성 비만 판단 기준인 80cm 이상인 대상자는 24명으로 전체 여성 실험자의 28.6%를 차지하고 있다. 남자 실험군의 평균 허리둘레는 81.4cm이고 허리둘레가 IDF에서 제시한 중심성 비만 판단 기준인 80cm 이상인 대상자는 15명으로 전체 남성 실험자의 20.3%를 차지하고 있다.

표 2 피검자 신체 정보 기초 통계

Table 2 Basic statistics based on subject's body information

총 피검자수 (N=158)	나이 (살)	신장 (Cm)	체중 (Kg)	허리 둘레 (Cm)	양광 둘레 (Cm)	하악지 둘레 (Cm)	WHR	WHI	BMI
Mean	38.5	155.5	55.7	74.6	93.3	53.7	0.80	0.48	23.1
여자 (N=84)	Max.	74.0	173.0	71.9	95.0	108.0	0.96	0.62	29.2
Min.	10.0	136.6	34.2	56.0	77.0	45.0	0.69	0.39	16.8
StDev.	17.6	7.2	8.0	7.9	5.8	4.6	0.06	0.06	3.1
Mean	37.3	168.2	67.9	81.2	95.2	54.1	0.85	0.48	23.9
남자 (N=74)	Max.	70.0	183.4	104.5	106.0	111.0	0.99	0.62	31.1
Min.	9.0	140.0	40.9	60.0	81.0	43.0	0.71	0.37	17.3
StDev.	18.4	8.3	12.6	9.6	6.5	4.9	0.06	0.05	3.3

2.2.2 실험 방법

실험은 본 논문을 위해 개발된 복부 임피던스 분석기로 100kHz 단일 주파수에서 복부 임피던스를 측정하고, 줄자, 신장계, 체중계로 피검자의 신체정보를 측정하였다. 다음으로 원주 기독병원에서 부위별 체지방량 분포를 위해 컴퓨터 단층촬영기(CT, Computed Tomography)를 이용하여 그림 7과 같이 요추 L4-5사이 복부 단면을 촬영하고 총 복부지방 면적과 피하지방 면적을 계산하고 두 값의 차로 내장 지방 면적을 계산하였다.

실험에 참여한 피검자는 실험 오류를 최소화하고 측정 결과의 정확성을 확보할 수 있도록 임피던스 분석 시 측정 1 주전 약물 섭취를 금지하였으며 측정 24시간 전 알코올 및

극심한 운동을 피하도록 하였다. 또한 측정 전 공복을 유지하도록 하였다.

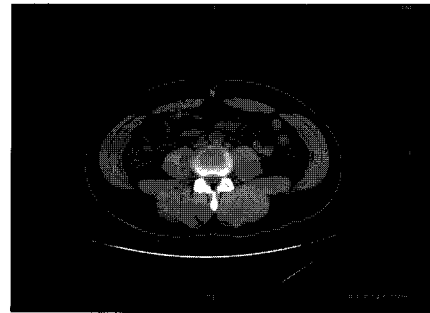


그림 7 요추 L4-5사이에서 촬영한 컴퓨터 단층촬영 영상  
Fig. 7 CT image taken between lumbar 4-5

2.3 실험 결과

2.3.1 컴퓨터 단층 촬영(CT) 변수 설정

CT를 이용해 요추 L4-5사이 복부 단면을 촬영하고, 영상 분석을 통해 중심성 복부 지방을 나타내는 변수를 표 3과 같이 정의하였다.

표 3 복부 임피던스 지방 분포 분석을 위한 변수

Table 3 Variables for analysis of abdominal impedance fat distribution

변수	설명	단위
TS	L4-5 사이 단면적	cm <sup>2</sup>
TF	L4-5 사이 단면의 지방조직 면적	cm <sup>2</sup>
IF	L4-5 사이 단면의 내장지방조직 면적	cm <sup>2</sup>
SF	L4-5 사이 단면의 피하지방조직 면적	cm <sup>2</sup>

2.3.2 복부 임피던스 변수 설정

본 논문에서 복부 임피던스 분석을 위해 그림 2와 같이 복부에 4개의 전극 쌍을 설치하고 6개 세그먼트(Seg 1, 2, 3, 4, 5, 6)의 임피던스를 측정하였다. 복부에서 측정한 6개 세그먼트의 임피던스-인덱스는 식 (2)와 같이 정의하고, 단일 세그먼트의 임피던스-인덱스를 일차 임피던스-인덱스로 명명하였다.

$$X_{Seg(n)} = \frac{H^2}{|Z_{Seg(n)}|} \tag{2}$$

$X_{Seg(n)}$  : Seg n의 임피던스 인덱스(n은 1부터 6사이 정수)  
 $Z_{Seg(n)}$  : Seg n의 임피던스(n은 1부터 6사이 정수)  
 $H$  : 신장

복부 임피던스 측정이 불가능하였던 남자 2명을 제외한 분석대상 158명의 상관관계는 표 4와 같다. 임피던스-인덱스 사이의 상관관계는 모두 0.7 이상으로 비교적 높은 상관관계가 있다. 베리-맥스 방법을 이용하여 요인분석을 한 결

과 임피던스-인덱스 1부터 6은 단일 그룹으로 묶였다. 따라서 복부 지방 분포 추정을 위한 선형회귀 방정식을 구성할 때 주요인 독립변수로 6개 일차 임피던스-인덱스 중 하나만 사용할 수 있다. 각 세그먼트의 일차 임피던스-인덱스와 함께 복합 요인을 검색하고자 변수공간을 식 (3)과 같이 정의하고 표 5와 같이 62개 변수로 확장하였다. 두 개의 세그먼트를 조합한 임피던스 인덱스를 이차, 세 개의 세그먼트를 조합한 임피던스 인덱스를 삼차, 네 개의 세그먼트를 조합한 임피던스 인덱스를 사차, 다섯 개의 세그먼트를 조합한 임피던스 인덱스를 오차, 그리고 모든 세그먼트의 임피던스 합을 육차 임피던스-인덱스로 명명하였다.

$$X_{Seg(nm\dots)} = \frac{H^2}{|Z_{Seg(n)} + Z_{Seg(m)} + \dots|} \quad (3)$$

$X_{Seg(n)}$ : Seg n의 임피던스 인덱스(n은 1부터 6사이 정수)  
 $Z_{Seg(n)}$ : Seg n의 임피던스(n은 1부터 6사이 정수)  
 $H$ : 신장

표 4 복부 임피던스-인덱스 사이의 상관관계

Table 4 Correlation between abdominal impedance and index

		N=158					
변수		$X_{Seg(1)}$	$X_{Seg(2)}$	$X_{Seg(3)}$	$X_{Seg(4)}$	$X_{Seg(5)}$	$X_{Seg(6)}$
$X_{Seg(1)}$	Pearson 상관계수	1.000	.774(**)	.871(**)	.857(**)	.852(**)	.876(**)
	유의확률 (양쪽)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$X_{Seg(2)}$	Pearson 상관계수	.774(**)	1.000	.829(**)	.927(**)	.908(**)	.782(**)
	유의확률 (양쪽)	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000
$X_{Seg(3)}$	Pearson 상관계수	.871(**)	.829(**)	1.000	.799(**)	.808(**)	.847(**)
	유의확률 (양쪽)	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000
$X_{Seg(4)}$	Pearson 상관계수	.857(**)	.927(**)	.799(**)	1.000	.960(**)	.806(**)
	유의확률 (양쪽)	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000
$X_{Seg(5)}$	Pearson 상관계수	.852(**)	.908(**)	.808(**)	.960(**)	1.000	.828(**)
	유의확률 (양쪽)	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000
$X_{Seg(6)}$	Pearson 상관계수	.876(**)	.782(**)	.847(**)	.806(**)	.828(**)	1.000
	유의확률 (양쪽)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

\*\* 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의함.

일차부터 육차까지 확장한 62개 임피던스-인덱스를 베리-맥스 방법을 이용하여 요인분석 한 결과 두 개 그룹으로 묶였다. 따라서 복부 지방분포 추정을 위한 선형회귀방정식을 구성할 때 표 5의 62개 임피던스-인덱스 중 두 개 이하의 변수를 주요 독립변수로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 임피던스-인덱스 62개 변수와 체중, 신장, 나이, 성별은 추정하고자 하는 복부 지방 분포 값과의 상관관계를 분석하여 상관관계가 높은 순서로 차례로 입력하여 회귀수식을 구성하였다. 선형회귀분석에서 독립변수로 체중은 항상 포함되도록 조정하였으며, 추정 모형별 선택 변수는 표 6과 같고 선택된 변수를 이용하여 복부 지방 분포를 추정하였다.

표 5 복부 임피던스-인덱스 구성

Table 5 Configuration of abdominal impedance and index

변수 구성방법	변수 표현	변수 개수
일차 임피던스-인덱스	$X_{Seg(1)}, X_{Seg(2)}, X_{Seg(3)}, X_{Seg(4)}, X_{Seg(5)}, X_{Seg(6)}$	6개
이차 임피던스-인덱스	$X_{Seg(12)}, X_{Seg(13)}, X_{Seg(14)}, X_{Seg(15)}, X_{Seg(16)}, X_{Seg(23)}, X_{Seg(24)}, X_{Seg(25)}, X_{Seg(26)}, X_{Seg(34)}, X_{Seg(35)}, X_{Seg(36)}, X_{Seg(45)}, X_{Seg(46)}, X_{Seg(56)}$	15개
삼차 임피던스-인덱스	$X_{Seg(123)}, X_{Seg(124)}, X_{Seg(125)}, X_{Seg(126)}, X_{Seg(134)}, X_{Seg(135)}, X_{Seg(136)}, X_{Seg(145)}, X_{Seg(146)}, X_{Seg(156)}, X_{Seg(234)}, X_{Seg(235)}, X_{Seg(236)}, X_{Seg(245)}, X_{Seg(246)}, X_{Seg(256)}, X_{Seg(345)}, X_{Seg(346)}, X_{Seg(356)}, X_{Seg(456)}$	20개
사차 임피던스-인덱스	$X_{Seg(1234)}, X_{Seg(1235)}, X_{Seg(1236)}, X_{Seg(1245)}, X_{Seg(1246)}, X_{Seg(1256)}, X_{Seg(1345)}, X_{Seg(1346)}, X_{Seg(1356)}, X_{Seg(1456)}, X_{Seg(2345)}, X_{Seg(2346)}, X_{Seg(2356)}, X_{Seg(2456)}, X_{Seg(3456)}$	15개
오차 임피던스-인덱스	$X_{Seg(12345)}, X_{Seg(12346)}, X_{Seg(123456)}, X_{Seg(23456)}$	5개
육차 임피던스-인덱스	$X_{Seg(123456)}$	1개
계		62개

표 6 복부 지방 분포 추정에 사용한 독립변수

Table 6 Independent variables used to estimate abdominal fat distribution

모형	독립변수
TS(복부면적)	$X_{Seg(25)}$ , 체중, 신장, 나이, 성별
TF(지방면적)	$X_{Seg(16)}$ , $X_{Seg(26)}$ , 체중, 신장, 나이, 성별
IF(내장지방면적)	$X_{Seg(2)}$ , $X_{Seg(16)}$ , $X_{Seg(126)}$ , 체중, 나이
SF(피하지방면적)	$X_{Seg(356)}$ , 체중, 신장, 성별

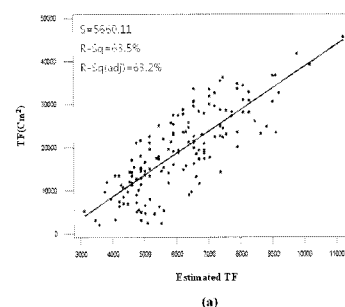
### 2.3.3 허리둘레를 이용한 복부 지방 분석

실험을 통해 허리둘레를 이용한 복부 지방 분포의 각 변수에 대한 추정 결과는 표 7, 그림 8과 같다. 각 지방 조직의 면적을 추정하는 선형회귀방정식은 허리둘레 제곱을 사용하였다. 허리둘레는 복부 면적을 가장 잘 표현하고 있으며, 총 지방면적과 내장지방면적에 대해서는 수정된 R 제곱이 0.6 이상으로 비교적 잘 표현하고 있으나 피하지방면적에 대해서는 수정된 R 제곱이 0.3 이하로 나타났다.

표 7 허리둘레를 이용한 복부 지방 분포 추정 결과

Table 7 Results of estimation of abdominal fat distribution using waist circumference

모형	R	R <sup>2</sup>	수정된 R 제곱	추정값의 표준오차
TS(복부면적)	0.955	0.913	0.912	3197.026
TF(지방면적)	0.797	0.635	0.632	5660.115
IF(내장지방면적)	0.809	0.654	0.652	3136.094
SF(피하지방면적)	0.516	0.267	0.262	5219.441



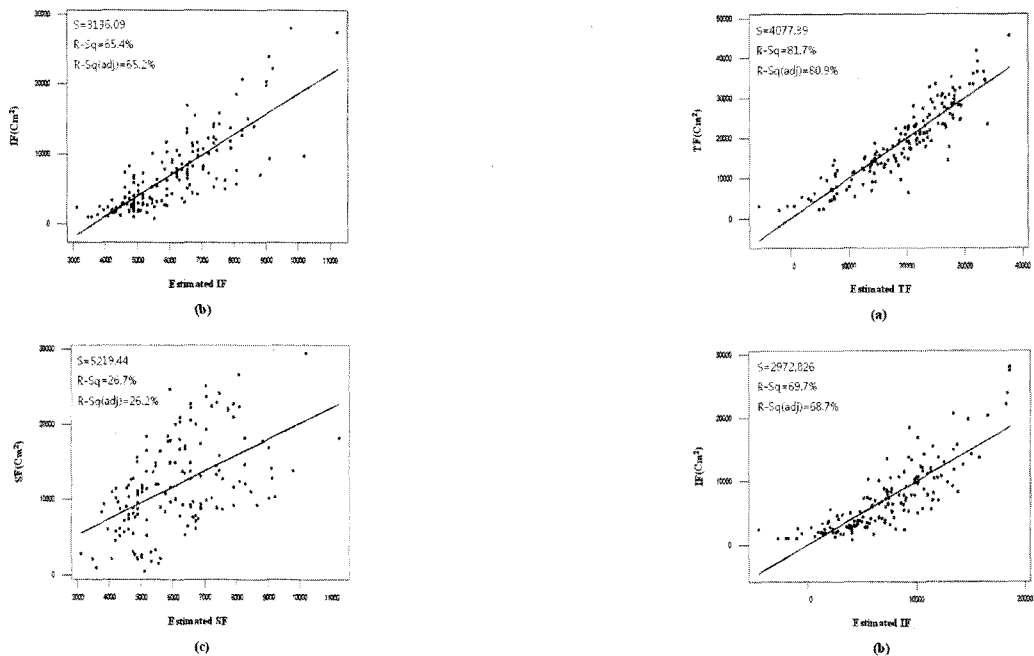


그림 8 허리둘레와 복부 지방 분포와의 상관성

- (a) 허리둘레를 이용한 복부지방면적 추정
- (b) 허리둘레를 이용한 내장지방면적 추정
- (c) 허리둘레를 이용한 피하지방면적 추정

Fig. 8 Correlation between waist circumference and abdominal fat distribution

- (a) Estimation of abdominal fat area using waist circumference
- (b) Estimation of internal organ fat area using waist circumference
- (c) Estimation of subcutaneous fat area using waist circumference

### 2.3.4 복부 임피던스를 이용한 복부 지방 분석

실험을 통해 측정된 복부 임피던스는 표 5의 복부 지방 추정 모형별 선택 변수를 이용하여 추정되었고 추정된 결과는 표 8, 그림 9와 같다. 각각의 임피던스-인덱스를 이용한 유도된 추정 값과 CT를 통해 분석된 복부면적, 복부지방면적, 내장지방면적, 피하지방면적의 상관관계를 보여주고 있다. 복부면적 추정 결과는 허리둘레 제곱을 이용해 추정한 결과와 비교하여 상관도가 0.912에서 0.870으로 낮아졌지만, 총 복부지방면적을 나타내는 지방면적, 내장지방 면적, 피하지방 면적 모두 허리둘레 제곱보다 수정된 R 제곱은 0.635에서 0.817, 0.654에서 0.697, 0.267에서 0.697로 높아졌다.

표 8 복부 임피던스를 이용한 복부 지방 분포 추정 결과  
Table 8 Results of estimation of abdominal fat distribution using abdominal impedance

모형	R	R 제곱	수정된 R 제곱	추정값의 표준오차
TS(복부면적)	0.935	0.874	0.87	3882.799
TF(지방면적)	0.904	0.817	0.809	4148.115
IF(내장지방면적)	0.835	0.697	0.667	3067.713
SF(피하지방면적)	0.835	0.697	0.687	2972.817

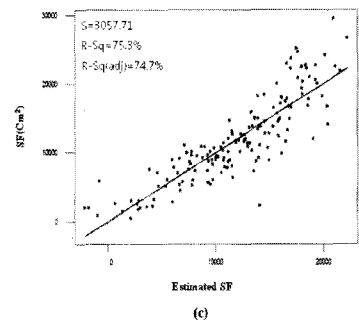


그림 9 복부 임피던스와 복부 지방 분포와의 상관성

- (a) 복부 임피던스를 이용한 복부지방면적 추정
- (b) 복부 임피던스를 이용한 내장지방면적 추정
- (c) 복부 임피던스를 이용한 피하지방면적 추정

Fig. 9 Correlation between abdominal impedance and abdominal fat distribution

- (a) Estimation of abdominal fat area using abdominal impedance
- (b) Estimation of internal organ fat area using abdominal impedance
- (c) Estimation of subcutaneous fat area using abdominal impedance

### 3. 결론

중심성 비만, 특히 내장지방의 비만은 대사증후군, 당뇨병 및 심혈관질환의 주요 원인으로 적극적 관리가 필요하다[8, 9]. IDF는 대사증후군 진단의 첫째 단계로 중심성 비만을 판단할 것을 제시하였으며, 중심성 비만의 정상과 비정상을 구분하는 척도로 허리둘레를 제안하였다[6,10]. 하지만, 허리둘레는 복부면적의 의미가 크고, 실질적으로 중심성 비만을 대변할 수 있는 내장지방이나 피하지방에 대한 정보를 주기 어렵다. 실제로 허리둘레만 이용한 데이터 결과는 엇비슷해 보이지만, 중심성 비만에 대한 병변에 가까워질수록 실제 결과(CT를 통해 확인된 실제 결과)와의 오차가 커짐을 확인하

였다. 따라서, 본 논문에서는 허리둘레를 이용한 중심성 비만 추정 방법의 한계가 확인하고, 복부 임피던스 측정을 이용한 복부 지방 분포를 추정하는 새로운 접근 방법을 제시하고자 하였다.

표 7에서 보는 바와 같이 허리둘레를 이용한 복부 지방 분포 추정모델은 복부면적(TS), 지방면적(TF), 내장지방면적(IF)과 선형회귀분석결과 수정된 R 제곱이 0.6 이상으로 비교적 높은 상관성을 보였으나, 피하지방면적에 대해서는 수정된 R 제곱이 0.262로 상관관계가 다른 부위 추정 모델에 비해 낮은 결과를 보였다. 하지만, 표 8에서 확인할 수 있듯이 임피던스-인덱스를 이용한 추정 모델은 허리둘레에 비해 복부 면적에 추정 능력은 다소 떨어졌으나 상관성에는 크게 영향을 주지 않았으며, 지방면적, 내장지방면적, 피하지방면적(SF)의 경우 허리둘레를 이용한 모델보다 추정값과 기준값 사이의 상관관계가 크게 개선되었다. 특히 임피던스-인덱스를 이용한 피하지방면적 추정 모델의 수정된 R 제곱은 0.687로 허리둘레를 이용한 추정모델의 수정된 R 제곱 0.262보다 뚜렷한 상관관계 개선 효과가 나타났다. 본 논문에서는 복부지방 분석의 기준값을 얻기 위해 요추 L4-5 사이에서 촬영한 컴퓨터 단층 촬영 영상을 분석하여 단면, 지방조직, 내장지방조직, 피하지방조직의 면적을 계산하여 측정값과 비교하였다.

부분 체임피던스를 측정하여 전체 체임피던스를 추정하는 방법은 몸의 전체 밸런스가 맞을 경우에 실제 체임피던스에 근접한 값을 추정할 수 있지만, 그렇지 못할 경우에는 그 오차가 매우 크게 발생한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 오차를 줄이기 위해 각 전극으로부터 세그먼트의 정보를 동시에 획득·분석함으로써 실제 체임피던스를 추정하였고, 이러한 방법은 허리둘레를 이용한 복부 지방 분포 추정 방법에 비해 결과의 정확도를 높이는 데 크게 기여하였다.

두 손목과 발목에 전극을 배치하여 인체를 팔, 다리, 몸통의 지방량을 분석하는 체임피던스 분석기는 이미 상용화되어 널리 이용되고 있다. 이러한 기존 체임피던스 분석법은 대사증후군 판단의 주요 진단기준인 중심성 비만 분석에 한계가 있으나 본 논문에서 제시한 복부 임피던스 분석 기능을 보완함으로써 인체 지방조직 분포에 관한 주요 진단 인자를 모두 추정할 수 있게 되었다. 특히 본 논문에서 제시한 복부 임피던스 측정 전극 쌍은 모두 4개로 기존 상용화된 임피던스 분석기에서 사용하는 측정 전극 쌍과 같다. 따라서 기존 체성분 분석기의 하드웨어 설계를 거의 수정하지 않은 상태에서 본 논문에서 제시한 복부 지방 분석 모델을 사용할 수 있을 것으로 기대된다. 단 복부 임피던스의 경우 기존 임피던스 분석기가 사용하는 임피던스 보다 크기가 작아 더 낮은 임피던스를 정밀하게 측정할 수 있는 측정 능력 개선이 필요하다.

본 논문은 측정된 복부 임피던스를 이용하여 복부 지방 분포를 추정하기 위한 추정 모델을 제시하였으며, 이들 모형이 복부 지방 분포를 판단하기 위한 주요 인자임을 컴퓨터 단층 촬영 결과와 비교를 통해 검증하였다. 본 논문에서는 중심성 비만 진단의 위한 지표가 되는 허리둘레와 복부 임피던스 방법을 비교하였으며, 실험 결과를 통해 복부 임피던스 방법을 이용한 보다 개선된 복부 지방 분포를 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제안한 복부 임피던스를 이용

한 추정 모델은 복부 지방 분포의 향상된 측정을 통해 보다 신뢰할 수 있는 중심성 비만의 평가가 가능할 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 보건복지부 보건의료 기술 진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것입니다(A020602).

### 참 고 문 헌

- [1] Larsson B, Svardsudd K, Welin L, Wilhelmsen L, Bjorntorp P, Tibblin G, "Abdominal adipose tissue distribution, obesity, and risk of cardiovascular disease and death: 13-year follow-up of participants in the study of men born in 1913," *B.M.J.*, vol.288, no.6428, pp.1401-04, 1984.
- [2] Reaven GM., "Role of insulin resistance in human disease," *Diabetes*, vol.37, pp.1595-607, 1988.
- [3] Kissebah AH, Bydelingum N, Murray R, Evans DJ, Hartz AJ, Kalkhoff RK, Adams PW., "Relation of body fat distribution to metabolic complications of obesity," *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, vol.54, no.2, pp.254-60, 1982.
- [4] DeFronzo RA, Ferrannini E, "Insulin resistance: a multifaceted syndrome responsible for NIDDM, obesity, hypertension, dyslipidemia, and atherosclerotic cardiovascular disease," *Diabetes Care*, vol.14, no.3, pp.173-94, 1991.
- [5] Fufioka S, Matsuzawa Y, Tokunaga K, Tarui S, "Contribution of intra-abdominal fat accumulation to the impairment of glucose and lipid metabolism in human obesity," *Metabolism*, vol.36, no.1, pp.54-9, 1987.
- [6] Alberti KGMM, Zimmet PZ, Shaw JE, "The metabolic syndrome—a new worldwide definition," *The Lancet*, vol.366, no.9491, pp.1059-62, 2005.
- [7] Zimmet P, Alberti G, Kaufman F, Tajima N, Silink M, Arslanian S, Wong G, Bennett P, Shaw J, Caprio S, "The metabolic syndrome in children and adolescents," *The Lancet*, vol.369, no.9579, pp.2059-61, 2007.
- [8] Harris TB, Visser M, Everhart J, Cauley J, Tyllavsky F, Fuerst T, et al., "Waist circumference and sagittal diameter reflect total body fat better than visceral fat in older men and women: The health, aging and body composition study," *Ann NY Acad Sci*, vol.904, pp.462-73, 2000.
- [9] Despres J-P, Lamarche B, "Effects of diet and physical activity on adiposity and body fat distribution: implications for the prevention of cardiovascular disease," *Nutr. Res. Rev.*, vol.6, no.1,

pp.137-59, 1993.

[10] World Health Organization. *Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation on obesity.* WHO : Geneva, 1997

## 저 자 소 개



### 임택균 (林澤均)

1970년 8월 20일생. 1996년 연세대학교 의공학과 졸업. 2007년 동 대학원 의공학과 졸업(공학박사). 현재 (재)강원테크노파크 전략산업기획단 책임연구원.  
E-mail : mongmong@mongmong.pe.kr



### 서광석 (徐光奭)

1976년 4월 17일생. 2001년 연세대학교 의공학과 졸업. 2004년 동 대학원 의공학과 졸업(공학석사). 현재 동 대학원 의공학과 박사과정. 현재 (주)메디게이트 연구소장.  
E-mail : whitesseo@medigate.biz



### 정인철 (鄭仁喆)

1976년 12월 31일생. 2002년 연세대학교 의공학과 졸업. 2005년 동 대학원 의공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 의공학과 박사과정. 현재 (주)누가의료기 연구부장.  
E-mail : decem31@chol.com



### 전석환 (全哲煥)

1980년 3월 20일생. 2007년 연세대학교 의공학과 졸업. 2009년 동 대학원 의공학과 졸업(공학석사). 현재 (주)바이오메드 시스템 사원.  
E-mail : junsukhwan@gmail.com



### 노연식 (盧硯植)

1980년 6월 24일생. 2006년 연세대학교 의공학과 졸업. 2008년 동 대학원 의공학과 졸업(공학석사). 현재 동 대학원 의공학과 박사과정  
E-mail : mninys@gmail.com



### 김응석 (金應錫)

1971년 9월 28일생. 1996년 연세대학교 의공학과 졸업. 2008년 동 대학원 의공학과 졸업(공학박사). 현재 (주)메디아나 부사장  
E-mail : eskim@mediana.co.kr



### 윤형로 (尹亨老)

1949년 2월 17일생. 1972년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1988년 Johns Hopkins. Univ. 객원교수. 현재 연세대학교 의공학과 교수.  
E-mail : hryoon@yonsei.ac.kr