

## 체성분 측정용 스마트 의류 개발의 가능성 탐색\*

### An Exploratory Study on the Development of a Healthcare Smart Clothing for Measurement of Body Composition

문희성\*\* · 조현승\*\*\* · 박선형\*\*\*\* · 이주현\*\*\*\* · 차기철\*\*\*\*\* · 신선영\*\*\*\*\* · 정효일\*\*\*†

Hui-Sung Moon\*\* · Hyun-Seung Cho\*\*\* · Sun-Hyung Park\*\*\*\* · Joo-Hyeon Lee\*\*\*\*\*

Kee-Chul Cha\*\*\*\*\* · Sun-Young Shin\*\*\*\*\* · Hyo-Il Jung\*\*\*†

연세대학교 기계공학과\*\*

Dept. of Mechanical Engineering, Yonsei University

연세대학교 의류과학연구소\*\*\*

Research Institute of Clothing and Textile Sciences, Yonsei University

연세대학교 의류환경학과\*\*\*\*

Dept. of Clothing and Textiles, Yonsei University

(주)바이오스페이스\*\*\*\*\*

Biospace Co., Ltd.

**Abstract :** We have developed and evaluated a smart clothing system for the measurement of body composition in real time. Two kinds of experimental clothes were developed in this study to investigate the effects of textile electrodes on the measurements. As long as the wearer maintained same posture, the magnitudes of impedance was measured identically even though he got into the clothing again. Moreover we found the clothing could measure the impedance of each body segment.

**Key words :** Bioimpedance, smart clothing, textile electrode, health care clothing

**요약 :** 본 연구에서는 체성분 측정용 스마트 의류의 프로토타입을 개발하고 평가함으로써 헬스케어 의류로서의 개발 가능성을 탐색하고자 하였다. 직물 전극을 사용하여 개발된 두 가지 타입의 실험의복을 피험자에게 착용하도록 한 후 자세의 변화 및 1차 착용, 탈의 후 2차 착용에 따른 체성분을 측정된 결과, 동일 자세 내에서와 탈의 후 재착용 시에도 비교적 일관성 있는 측정치를 얻을 수 있었으며, 동일 자세에서는 의복 유형 및 반복 착용에

\* 본 연구는 2004~2006년도 산업자원부 중기거점과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

† 교신저자 : 정효일(연세대학교 기계공학과)

E-mail : uridle7@yonsei.ac.kr

TEL : 02-2123-5814

FAX : 02-312-2159

관계 없이 비교적 일관된 임피던스 측정치를 얻을 수 있었다. 또한 착용자의 신체 부위별 측정도 가능한 것으로 분석되어 향후 본 연구를 바탕으로 체성분 측정용 스마트 의류 개발이 가능할 것이라 판단된다.

**주제어** : 생체 임피던스, 스마트 의류, 직물 전극, 헬스케어 의류

## 1. 서론

최근 웰빙 트렌드와 건강에 대한 관심이 높아짐에 따라 실시간 모니터링이 가능한 스마트 의류 개발에 대한 필요성이 증가하고 있으며, 고도화된 센서 기술과 무선 정보통신 기술은 이러한 스마트 의류 개발을 가속화 하고 있다. Venture Development Corporation (2005)의 세계 헬스케어 시장 전망에 따르면, 2004년도를 기준으로 2007년까지 연평균 성장률을 24%로 예측하고 있으며[6], Parks Associates에서 2005년도 발간된 보고서인 Delivering Quality Healthcare to the Digital Home에서, 미국의 디지털 홈 헬스케어 서비스 부문의 매출 규모가 향후 5년 내에 5배 가까이 급속도로 성장하여, 2010년에 이르면 21억 달러 규모를 이룰 것으로 전망하고 있다[9]. 이와 병행하여 헬스케어 스마트 의류 시장 역시 향후 급속한 성장세를 보일 것으로 예상되며, 이를 뒷받침하는 근거로는 최근 상용화되고 있는 바이오 모니터링 의류들을 예로 들 수 있다.

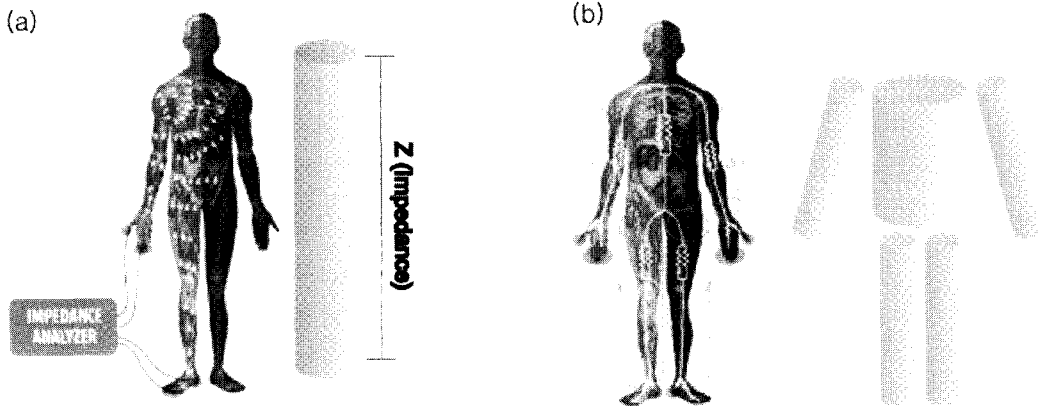
유명한 스포츠웨어 업체인 Adidas는 Polar Electro와의 협업을 통해 셔츠에 텍스타일 센서가 통합 구성되어 심박수를 측정할 수 있을 뿐 아니라, 운동량을 체크하는 센서가 내장된 운동화를 개발하여 시계형태의 디스플레이 장치에 무선 송신하는 키트 개념의 신제품을 출시하였으며[7], Nike에서도 운동화에 내장된 센서를 통해 운동량을 측정할 수 있는 제품이 상용화되고 있다[10]. TextronicsTM에서도 심박수를 모니터링하는 NuMetrex라는 브랜드의 스포츠 브라를 상용화 하고 있고[11], 이 밖에도 심전도, 호흡량 등을 실시간 모니터링하여 위급 상황에 대비할 수 있도록 한 스마트 의류들이 심도 있게 개발되고 있는 추세이다[12].

한편 건강의 지표 중 하나인 체성분 측정이 가능한 의류를 개발하려는 시도는 아직 전세계적으로 태동기에 있다. 체성분 분석을 통해 인체의 부위별 지방량을 측정할 수 있는 의류의 개발은 현대인들의 건강 및 외모에 대한 관심을 충족시킬 수 있을 뿐 아니라 궁극적으로 예방의학의 차원에서도 국민 복지향상에 기여 할 수 있다. 본 연구에서는 직물 전극을 사용하여 체성분 측정용 스마트 의류의 프로토타입을 개발하고 평가함으로써 헬스케어 의류로서의 개발 가능성을 탐색하고자 하였다.

## 2. 이론적 고찰

Bioelectric Impedance Analysis(BIA)는 체성분 분석 분야에 커다란 잠재성을 지니고 있다. BIA는 '생체 임피던스법'으로, 인체에 미세한 전류를 흘려 임피던스를 측정하는 기술이다. 인체의 구성 성분(수분, 단백질, 무기질, 지방) 가운데 전류를 통과시키는 것은 전도성이 높은 수분 밖에 없다. 따라서 인체에 전극을 접촉시켜 전류를 흘려 주면 전류는 체수분을 따라 흐르게 된다. 몸 안에 수분이 많으면 전도성이 높아져 저항이 적고 수분이 적으면 전도성이 낮아져 저항이 커진다. 이를 통해 몸 속에 있는 물의 부피를 알아낼 수 있고 몸 속의 물 부피를 알아내면 지방을 제외한 근육량을 산출할 수 있다. 다음으로 몸무게에서 수분, 근육(단백질+무기질)을 모두 빼면 체지방량을 구할 수 있다.

과거 이 분야에서는 신체를 여러 체성분들이 혼합된 원통형의 도체라 가정하고 측정을 하는 방식을 취해왔다. 많은 연구 그룹들이 체수분과 체지방을 계산해 내기 위한 공식을 경험적으로 도출해 왔고 이를 통해 나이, 성별, 인종에 따른 체성분 값을 도출해왔



(a) 인체를 하나의 원통형으로 가정한 종래의 BIA. 체수분은, “체수분=C(키<sup>2</sup>/Z) (C: 상관계수, Z: 임피던스)”의 관계식으로부터 구해진다 [5]. 구해진 체수분량과 체중을 이용하면 체지방량도 계산할 수 있다. (b) 인체를 팔, 다리, 몸통의 5개 원통의 조합으로 가정한 새로운 BIA. 부위별로 임피던스를 측정함으로써 사람의 체형에 따라 좀더 정확하게 측정할 수 있다.

그림 1. 인체를 원통형으로 간주하는 것과 부위별로 측정하는 것의 차이[8]

다. 그러나 인체는 실제로 간단한 원통형 모양이 아니어서 측정값이 팔, 다리, 몸통 각 부분의 특성을 제대로 반영하지 못해 측정값이 부정확하다는 단점이 있었다. 때문에 신체 부위별로 측정을 달리 하여 정확도를 크게 높이는 방법이 개발되었다[2](그림 1). 이 방법은 인체 성분의 절반을 차지하는 몸통을 초정밀로 측정할 수 있고, 신체 특정 부위만의 체성분 변화도 정확히 짚어낼 수 있다. 또한 single-frequency Impedance analysis보다 multifrequency impedance analysis가 더욱 정확하고 더 많은 정보를 나타낼 수 있다는 것도 밝혀졌다[3].

현재 체지방 측정기는 휴대용, 가정용으로 소형화 및 대중화되는 추세에 있다. 휴대용 체지방 측정기는 사용자가 양쪽 측정 단자를 엄지와 검지를 이용해 잡은 후, 5초 정도 지나면 체지방량을 알려준다. 최근에는 휴대폰 서비스와도 연계가 되어 체지방량을 원격으로 기록, 관리하는 사용 방식도 출현하였다. 가정용 체지방 측정기는 키, 몸무게, 나이, 성별 등을 입력한 뒤 체중계 모양의 판 위에 올라가면 체지방을 측정하여 보여준다. 이 기기는 오른쪽 발에서 왼쪽 발로 전기를 흘려준 뒤 생체 임피던스를 측정하는 방

법을 사용한다[1]. 이러한 기존의 두 방식 모두 사람의 몸을 원통형으로 계산하고, 상체나 하체 일부만의 생체 임피던스를 측정하는 방식을 취한다. 따라서 신체를 보다 적은 구간으로 나누어 부위별로 정확히 체성분을 측정하는 것에는 한계가 있다고 사료된다.

생체 임피던스는 체성분 뿐만 아니라, 세포 내수분과 세포 외수분을 측정함으로써 탈수와 부종을 진단할 수 있고[2], 심박동 기록[4], 호흡 등도 함께 측정할 수 있어 많은 응용이 예상된다.

### 3. 연구 방법

본 연구에서는 부위별로 신체의 생체 임피던스를 측정하는 스마트 의류를 개발하여 다양한 상황에서 측정해 봄으로써 의류로서의 적용 가능성을 탐색해 보았다.

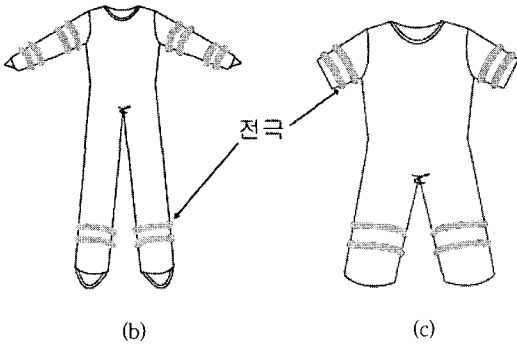
#### 3.1 체성분 측정용 실험의복 개발

체성분 측정을 위한 실험의복은 착용자의 신체 부위별 측정이 가능하도록 두 가지 타입으로 개발되었다.

두 가지 타입 모두에 직물 전극을 사용하였고(그림 2(a)), 긴소매의 긴바지 형태(그림 2(b)), 반소매의 무릎 위까지 오는 반바지 형태(그림 2(c))의 상·하의 일체형(one-piece)이며, 인체의 곡면에 따른 커팅(cutting)방식을 취함으로써 착용자의 인체에 직물 전극이 밀착될 수 있도록 설계되었다. 특히 사지의 직물 전극이 부착되는 측정부위에는 동작에 따른 전극의 움직임이 최소화 될 수 있도록 실험의복을 구성하였다.



(a)



(b)

(c)

그림 2. (a) 의복에 사용된 직물 전극, (b) 긴소매의 긴바지 형태 실험 의복, (c) 반소매의 반바지 형태 실험 의복. 부위 별로 측정이 가능하도록 팔, 다리에 전극을 각각 부착함.

### 3.2 생체 임피던스의 측정

직물 전극을 이용하여 본 연구진이 개발한 의복이 기존의 기계형 체성분 분석기처럼 체성분 측정이 가능

한가를 알아보기 위해 다음과 같이 연구를 수행하였다. 임피던스의 측정은 임피던스 측정기(모델명: RJL BIA-101A(RJL Systems Inc.))를 이용하였고 50kHz의 주파수를 이용하였다. 50kHz의 주파수대를 이용한 이유는 이 주파수대의 리액턴스가 가장 커서 인체의 특성을 보기에 가장 좋고, 기술적으로 다루기 쉽기 때문이다[8]. 체성분 분석용 의류와 임피던스 측정기는 그림 3과 같이 케이블로 연결되었고, 의류의 각 위치에 배치된 전극을 이용하여 부위별 측정을 시도하였다(그림 4, 5).

의복을 착용할 때 마다 신체상 전극의 상대적 위치가 조금씩 변할 수 있는데 이러한 전극위치 이동으로 인한 영향을 알아보기 위해 피험자의 임피던스를 1회 측정(1차)한 후 탈의를 하도록 하였으며, 이후 다시 의복을 입도록 하고 재측정 하였다(2차). 또한 착용자의 자세가 측정값에 미치는 영향을 측정하기 위해 팔다리를 벌리거나 굽히는 등의 다양한 자세에서 측정을 시도하였다(그림 6). 차려 자세는 팔다리를 몸통에 붙인 자세이고, 정자세는 차려 자세에서 거드랑이와 가랑이를 피험자가 의도적으로 조금 벌려준 자세이다. 이밖에 각 자세들은 그림에서 보여지는 것과 같다(그림 6, 7).



그림 3. 체성분 측정용 실험의복을 이용한 생체 임피던스의 측정 장면

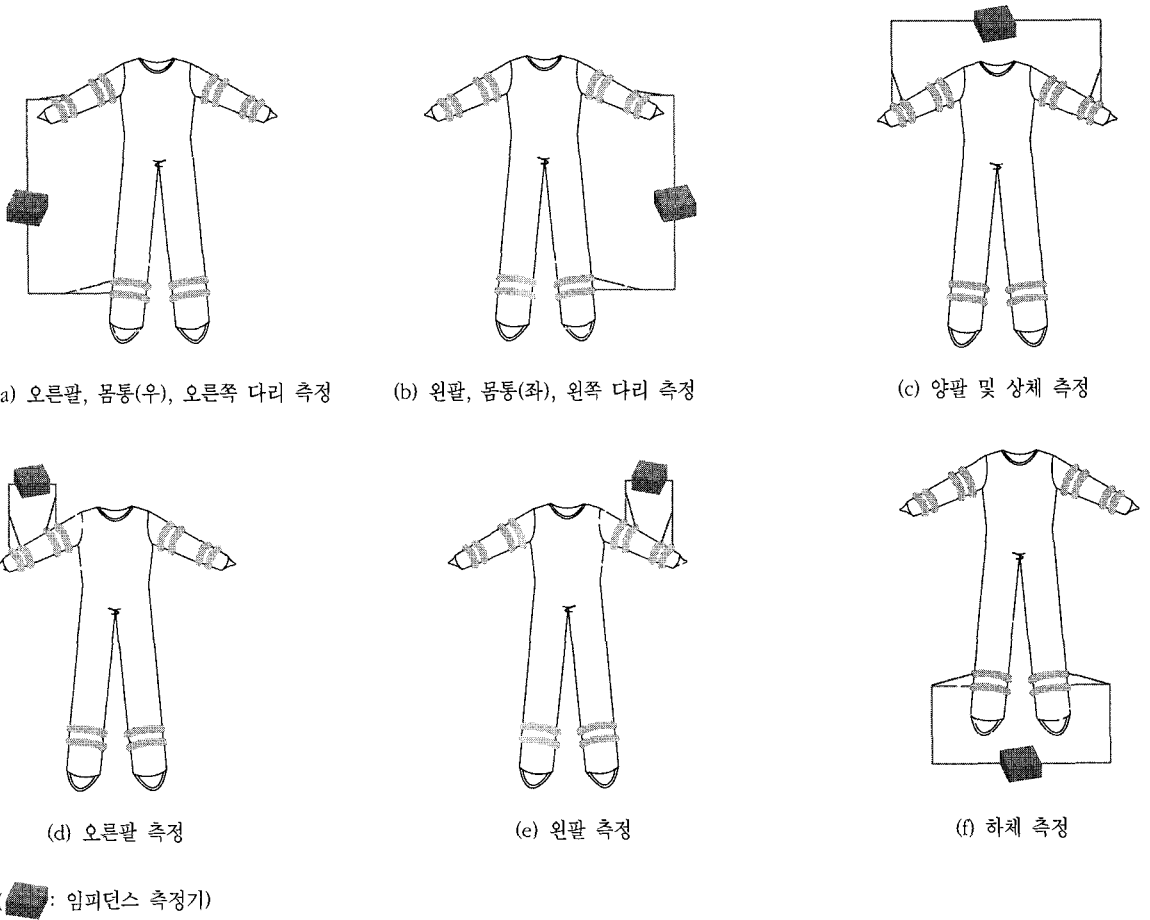


그림 4. 체성분 측정용 실험의복을 이용한 부위별 생체 임피던스의 측정 모식도(의류 type 1 사용)

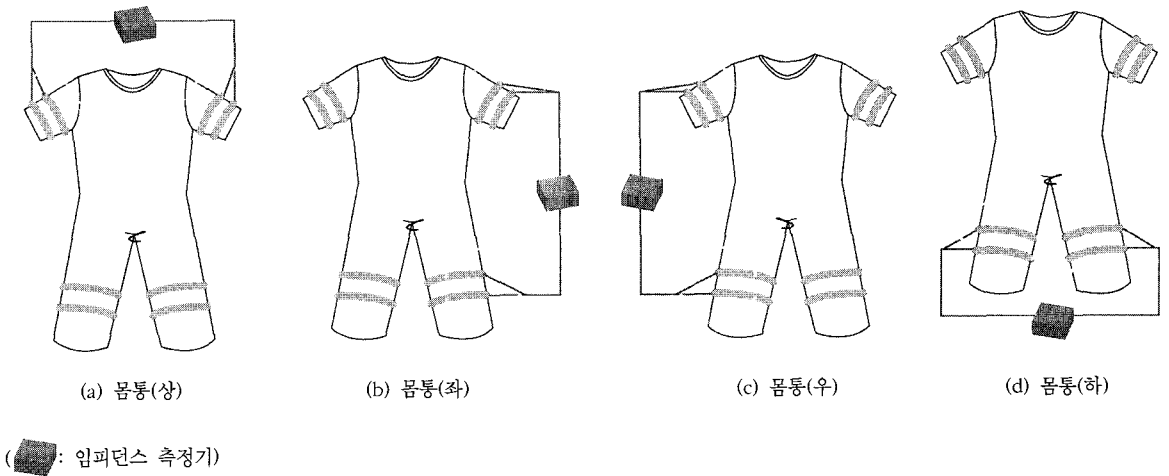
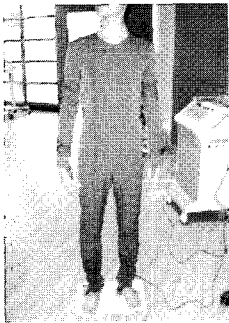


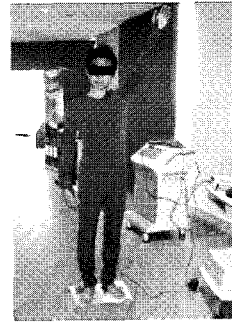
그림 5. 체성분 측정용 실험의복을 이용한 부위별 생체 임피던스의 측정 모식도(의류 type 2 사용)



정자세



팔 90° 올리기



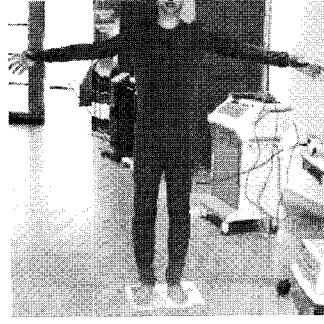
(c) 팔 180° 올리기



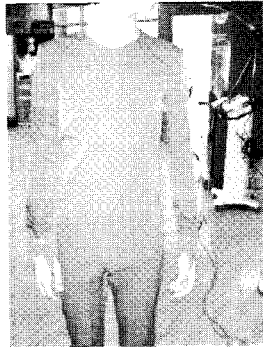
차려자세



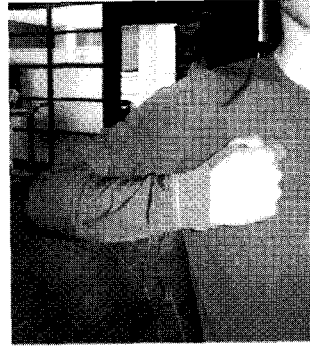
정자세



양팔벌리기



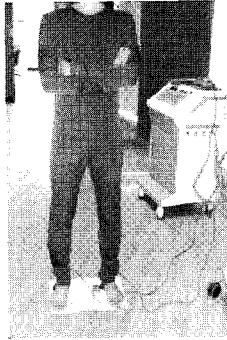
정자세



팔굽히기



기마자세



정자세



다리 벌리기

그림 6. 체성분 측정용 실험의복을 이용한 자세별 생체 임피던스 측정 장면(의류 type1 사용)

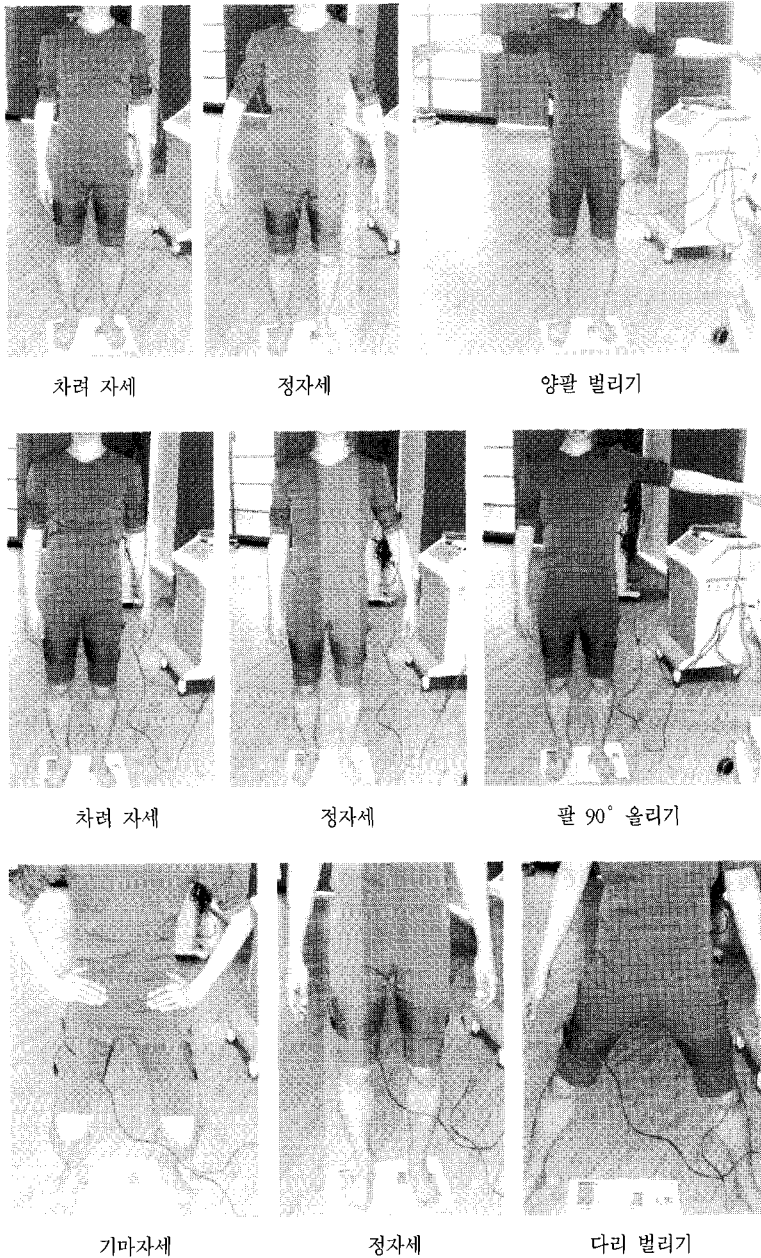


그림 7. 체성분 측정용 실험의복을 이용한 자세별 생체 임피던스 측정 장면(의류 type2 사용)

#### 4. 결과 및 논의

의류 type1을 이용해 그림 4와 같이 (a)부터 (f)까지의 측정 방식을 취했을 때 측정된 임피던스 값은 표 1과 같다. 이때 자세에 따른 측정값의 변화를 알아보기 위해 다양한 자세를 취해보았다. 각각의 자세에

대한 정보는 그림 6에서 확인할 수 있다.

마찬가지로 의류 type 2를 이용해 (a)부터 (d)까지의 측정 방식을 취했을 때 측정된 임피던스 값은 표 2와 같다. 이때 역시 자세에 따른 측정값의 변화를 알아보기 위해 차려자세, 정자세, 기마자세, 팔 올리기, 다리 벌리기 등 다양한 자세를 취하게 한 후 임피

표 1. 의복 type 1의 임피던스 측정 결과

(a) 오른팔+몸통(우)+오른다리

|         | 정자세   | 팔 90도<br>올리기 | 팔 180도<br>올리기 |
|---------|-------|--------------|---------------|
| 1차      | 267.0 | 270.0        | 281.0         |
| 2차      | 263.0 | 259.0        | 274.0         |
| 변동계수(%) | 1.07  | 2.94         | 1.78          |

(b) 왼팔+몸통(좌)+왼다리

|         | 정자세   | 팔 90도<br>올리기 | 팔 180도<br>올리기 |
|---------|-------|--------------|---------------|
| 1차      | 272.0 | 272.0        | 289.0         |
| 2차      | 272.0 | 274.0        | 288.0         |
| 변동계수(%) | 0     | 0.52         | 0.25          |

(c) 양팔+상체

|         | 차려자세  | 정자세   | 양팔 벌리기 |
|---------|-------|-------|--------|
| 1차      | 306.0 | 298.0 | 324.0  |
| 2차      | 303.0 | 297.0 | 320.0  |
| 변동계수(%) | 0.70  | 0.24  | 0.88   |

(d) 오른팔

|         | 정자세  | 팔 굽히기 |
|---------|------|-------|
| 1차      | 56.0 | 40.0  |
| 2차      | 55.0 | 40.0  |
| 변동계수(%) | 1.27 | 0     |

(e) 왼팔

|         | 정자세  | 팔 굽히기 |
|---------|------|-------|
| 1차      | 58.0 | 40.0  |
| 2차      | 58.0 | 40.0  |
| 변동계수(%) | 0    | 0     |

(f) 하체

|         | 기마자세  | 정자세   | 다리 벌리기 |
|---------|-------|-------|--------|
| 1차      | 179.0 | 186.0 | 194.0  |
| 2차      | 175.0 | 185.0 | 193.0  |
| 변동계수(%) | 1.60  | 0.38  | 0.37   |

던스 값을 측정하였다.

인체의 부위별 임피던스를 측정한 결과 표 1 과 표 2 에서 볼 수 있듯이, 1차 측정과 2차 측정의 결과 값은 표1(a)의 결과를 제외하고는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉, 임피던스 측정값의 변동 계수

표 2. 의복 type 2의 임피던스 측정 결과

(a) 몸통(상)

|         | 차려자세 | 정자세  | 팔 90도<br>올리기 |
|---------|------|------|--------------|
| 1차      | 80.0 | 88.0 | 93.0         |
| 2차      | 81.0 | 81.0 | 92.0         |
| 변동계수(%) | 0.88 | 5.86 | 0.76         |

(b) 몸통(좌)

|         | 차려자세 | 정자세  | 팔 90도<br>올리기 |
|---------|------|------|--------------|
| 1차      | 79.0 | 83.0 | 90.0         |
| 2차      | 79.0 | 79.0 | 88.0         |
| 변동계수(%) | 0    | 3.49 | 1.59         |

(c) 몸통(우)

|         | 정자세  | 팔 90도<br>올리기 |
|---------|------|--------------|
| 1차      | 81.0 | 88.0         |
| 2차      | 79.0 | 85.0         |
| 변동계수(%) | 1.77 | 2.45         |

(d) 몸통(하)

|         | 기마자세 | 정자세  | 다리 벌리기 |
|---------|------|------|--------|
| 1차      | 42.0 | 37.0 | 39.0   |
| 2차      | 38.0 | 36.0 | 39.0   |
| 변동계수(%) | 7.07 | 1.94 | 0      |

(Coefficient of variation)를 구해보면 type1 의류가 평균 0.75%, type2 의류가 평균 2.35%로 매우 작게 나왔다. 변동계수는 1, 2차 측정값의 표준편차를 평균값으로 나누어 계산했다.

이는 동일한 의복을 착용한 경우에는 탈의 후 재착용으로 인한 의복상 전극 위치의 변동이 측정값의 재현성에 큰 영향을 주지 않음을 시사한다. 의류 type1 과 type2의 경우 모두 이러한 경향이 나타났다. 이는 인체공학적으로 제작된 체성분 측정용 실험의복이 신체상에서 전극 위치를 안정적으로 잡아주었기 때문인 것으로 풀이된다.

또한 자세의 변화에는 일관되게 측정값이 변화한 것을 볼 수 있는데 이는 전류가 흐르는 경로의 단면이 줄어들고 길이가 늘어나면 저항이 늘어난다는 물리적 법칙과 일치하는 것이다. 따라서 임피던스 값의



측정 시 착용자의 자세는 일관되게 유지해야 한다는 사실을 도출할 수 있다. 본 연구에서는 각 동작에 따른 측정치는 차이가 있었으나, 같은 동작에서는 1, 2차 착의 간에 일관된 임피던스 값을 얻을 수 있었다. 한편 type1의복에서 정자세 1차와 2차의 측정값은 0~1.2%의 변동 계수를 갖는데, type2의 경우 1.77~5.86%의 변동계수를 나타내어 다른 경우보다는 높게 나왔다. 이는 type2 의류의 측정 전극간의 거리가 짧아 측정전극간 거리가 긴 type1 의류의 경우보다 변동이 심하기 때문인 것으로 예상된다. 이상의 실험 결과에 따라, 본 연구의 체성분 측정 의류를 착용하고 피험자가 동일한 자세를 유지한다면 안정적인 체성분 측정치를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

### 5. 결론

본 연구에서는 직물 전극을 이용해 개발한 체성분 측정용 의복을 통해 안정적으로 생체 임피던스를 측정할 수 있다는 것을 확인 하였다. 직물 전극을 이용하면 착용시 이질감이 거의 없고 세탁도 용의하다는 장점이 있다. 본 연구진이 개발한 체성분 측정용 의복은 신체상에서의 전극 위치를 일관되게 유지시켜 주어 탈의후 재착용을 해도 위치 변화가 작았다. 또한 의복상의 전극 위치를 조절함으로써 인체 부위별 측정이 가능하다는 것도 알게 되었으며 이는 의복을 통해 생체 임피던스를 측정하고 이를 통해 체성분을 비롯한 각종 정보를 안정적으로 얻을 수 있다는 것을 의미한다.

따라서 본 연구진은 앞으로 좀더 다양한 의류 타입과 다양한 동작을 통한 임피던스 측정실험을 진행할 예정이다. 이를 통해 체성분 측정의류, 넓게는 생체 임피던스 측정으로 생체정보를 모니터링 하는 스마트 의류를 개발해 나갈 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 2004~2006 산업자원부 중기거점 과제의

연구비 지원으로 수행되었으며, 본 연구의 실험은 ㈜ 바이오스페이스의 도움을 통해 이루어 졌습니다.

### 참고문헌

- [1] 권대익 (2003). 몸의 체지방 어떻게 구하나, 한국일보 2003-06-22.
- [2] Baumgartner, R. N., Chumlea, W. C., & Roche, A. F. (1989). Estimation of body composition from bioelectrical impedance of body segments, *The American journal of clinical nutrition*, 50, 221-226.
- [3] Cha, K. C., Chertow, G. M, Gonzalez, J., Lazarus, J. M., & Wilmore, D. W. (1995). Multifrequency bioelectrical impedance estimates the distribution of body water, *Journal of Applied Physiology*, 79(4), 1316-1319.
- [4] Grimnes, S., & Martinsen, Ø. G. (2000). *Bioimpedance & Bioelectricity Basic*, Academic Press, London.
- [5] Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gomez, J. M., Heitmann, B. L, Kent-Smith, L., Melchior, J.-C., Pirlich, M., Scharfetter, H., Schols, A. M. W. J., Pichard, C., & Composition of the ESPEN Working Group (2004). Bioelectrical impedance analysis-part I: review of principles and methods, *Clinical Nutrition*, 23(5), 1226-1243.
- [6] Venture Development Corporation (2005). *Wearable Systems, Multi-client Research Report*, October 2005.
- [7] [www.adidas-polar.com](http://www.adidas-polar.com)
- [8] [www.biospace.co.kr](http://www.biospace.co.kr)
- [9] [www.mindbranch.co.kr](http://www.mindbranch.co.kr)
- [10] [www.nike.com/nikeplus](http://www.nike.com/nikeplus)
- [11] [www.textronicsinc.com](http://www.textronicsinc.com)
- [12] [www.wealthy-ist.com](http://www.wealthy-ist.com)

원고접수 : 07.07.29

수정접수 : 07.09.11

게재확정 : 07.09.12