

# 광전 방식에 의한 피하 지방층의 비만도 측정에 관한 연구

오세용\* · 이영우\*

A Study on The Fat Measurement at Subcutaneous Adipose by Optical and Electrical Method

Se Yong Oh\* · Young-Woo Lee\*

## 요 약

광학적 방식은 백색광 LED광원을, 전기적 방식은 BIA(Bio-electrical Impedance)방식을 이용하여 동시에 측정할 수 있는 광전기적 지방측정에 관한 상관식을 유도하였다. 실험을 통해서 BIA 방식의 경우 5V 및 50kHz의 입력 교류 신호에 대해 6도의 위상차와 2.7V의 전압 강하를 확인 하였다. 광학적 방식의 경우 이두박근, 허벅지, 삼두박근의 순으로 광강도가 높아지는 것을 확인하였다. 측정된 광전 방식의 값은 상관식에 의해서 20%의 퍼센트 비만도를 얻었다.

## ABSTRACT

Body fat correlation formula induced by using optical method was used white light LED source and electrical method used BIA(Bio-electrical Impedance Analysis) method measured at same time. In the case of BIA method confirmed phase difference of 6 degree and voltage drop of 2.7V at 5V and 50kHz's input signal. In the case of optical method confirmed that optical intensity increased by order of the biceps, the fleshy inside of the thigh and the triceps. We obtained percent body fat of 20% with the body fat correlation formula induced by photo-electricity method.

## 키워드

BIA, 비만도, Body Composition, fat

## I. 서 론

비침습적으로 체내의 지방도를 측정하는 방법에는 여러 가지 방식의 연구가 진행되고 있다.

이들 방법에는 광학적 방식, 전기적 임피던스(BIA, Bio-electrical Impedance Analysis)방식, 초음파 방식 등 여러 가지 방식이 있다[1]. 특히 광학적 방식 및 전기적 임피던스 방식은 다른 방식에 비해서 측정 정밀도가 높기 때문에 많은 연구가 진행되어지고 있다[2]. 하지만 이들 각각의 방법은 피부색, 피부 오염도, 영양상태 등의

영향에 의해서 정확한 비만도를 측정 할 수 없다.

광학적 방식 및 BIA 방식의 특성은 표 1과 같다[3]. 여기서 BIA 방식은 광학적 방식에 비해서 측정하기 전 공복상태, 운동 후 측정 및 전기 신호에 의한 제약을 받는다. 또한 광학적 방식은 피부색, 피부의 오염정도 등의 피부 상에서 일어나는 요인에 영향을 많이 받는다.

본 연구에서는 광학적 방식의 단점 및 BIA 방식의 단점을 보완하는 광학적 방식 및 BIA 방식을 혼합한 광전 방식에 의해 비만도를 측정할 수 있는 방법과 비만도 측정 상관식을 유도하였다.

표 1. 광학적 방식과 BIA방식의 특성 비교  
Table. 1 Compare with optical and BIA method

관련항목	광학적 방식	BIA방식
측정전 공복 상태	불필요	필요
운동 후 측정	가능	불가능
배뇨	불필요	필요
위험성	없음	임산부
측정 시간	수초	수초~수십분

## II. 광전 방식에 의한 비만도 측정을 위한 상관 모델

BIA 방식에 의한 비만도를 측정하기 위해서는 체내에  $800\mu A$  미만의 전류를 보내고 체내의 임피던스를 측정하여 비만도를 측정한다. 일반적으로  $800\mu A$  이상은 신체에 위험성을 주기 때문에 사용하지 않고 있다. 그림 1은 4극 방식의 비만도 측정을 위한 장치의 원리를 보여주고 있다. 신체는 뼈, 지방, 근육 등의 저항 성분과 나트륨, 칼륨 등 이온들의 캐패시스터 성분으로 되어 있기 때문에 여기서 직류 저항 성분 및 캐패시스터 성분을 측정하여 신체의 비만도를 계산할 수 있다.

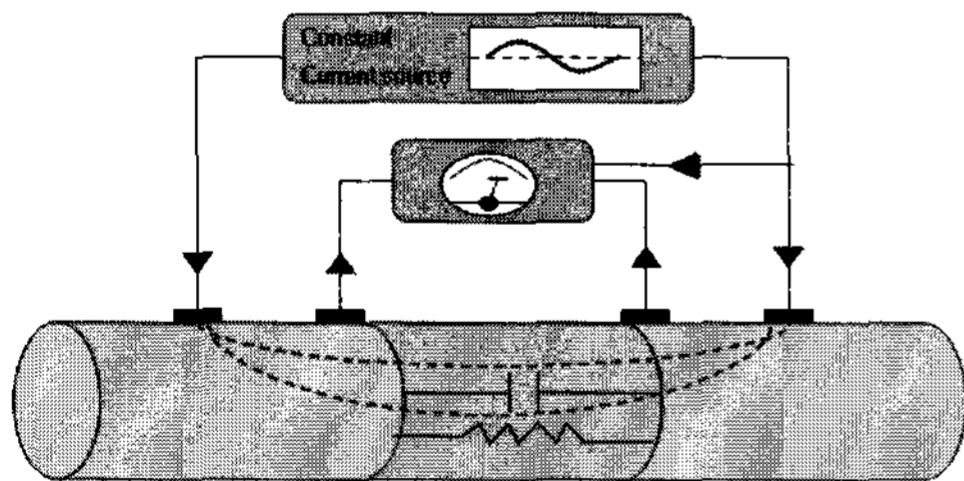


그림 1. BIA방식의 비만도 측정 원리  
Fig. 1 Measurement principle of BIA method

그림 2는 신체의 교류 신호에 대한 증폭도 및 위상차를 보여주고 있다. 그림에서 보는 것처럼 사람에 따라서 신호의 증폭도 및 위상차가 변화되는 것을 알 수 있다.

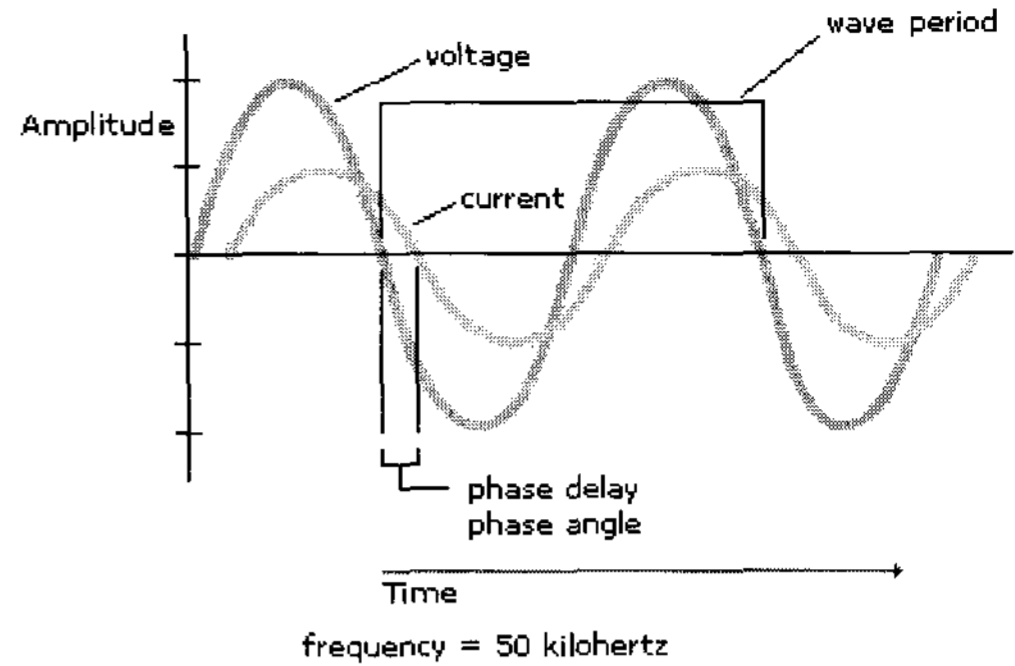


그림 2. 신체의 교류 신호에 대한 증폭도 및 위상차  
Fig. 2 Amplification and phase difference about AC signal of body

신체는 나이, 성별, 키에 따라서 같은 지방량이라도 비만도에 따라 다르기 때문에 추가적인 파라미터로 사용하였다. 식 (1), 식 (2), 식 (3), 식 (4) 및 식 (5)는 BIA 방식에 의한 비만도 측정을 위한 상관식 유도를 보여주고 있다.

$$V = I \times R, Z = R + jX \quad (1)$$

$$R = |Z| \times \cos\theta, X = |Z| \times \sin\theta \quad (2)$$

$$FFM(\text{Fat Free Mass}) = -4.033 + 0.734 \times (H^2/R) + 0.096 \times X \quad (3)$$

$$Fat = Weight - FFM \quad (4)$$

$$\%BIA = (Fat/Weight) \times 100 \quad (5)$$

여기서  $V$ 는 전압,  $I$ 는 전류,  $R$ 은 저항,  $X$ 는 리액턴스,  $H$ 는 키,  $Age$ 는 나이,  $Sex$ 는 성별,  $\%BIA$ 는 퍼센트 비만도를 나타낸다. BIA 방식에서는 지방을 제외한(Fat Free Mass)값을 구한 다음 전체 몸무게를 빼는 것에 의해서 비만도를 구할 수 있다.

그림 3은 BIA 방식에 의한 비만도를 측정하기 위한 블록도를 보여주고 있다. 50kHz의 교류신호를  $800\mu A$ 의 정전류로 만들어 신체에 입력하고 전극을 통해서 교류신호를 측정한다. 입력된 교류신호와 측정된 교류신호의 위상차를 구하고 측정된 신호의 전압을 얻었다.

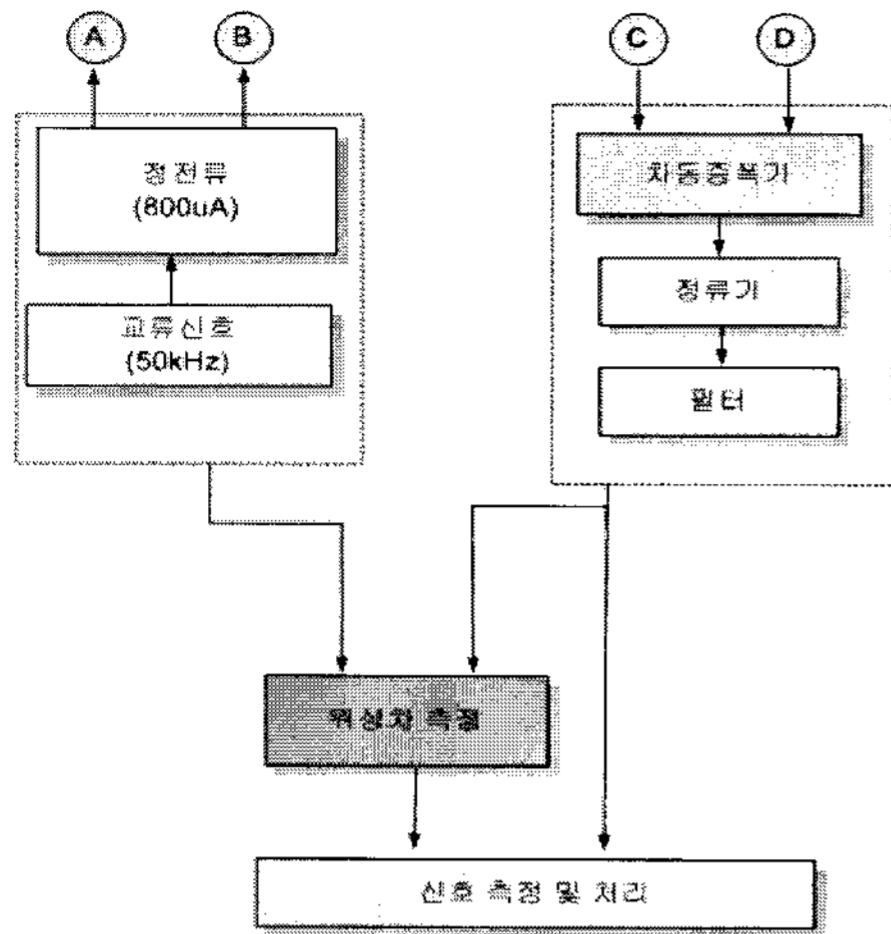


그림 3. BIA 방식의 신호 측정 블럭도  
Fig. 3 BIA method measurement block-diagram

수식 (6)은 광학적 방식에 의해서 비만도를 측정하는 일반적인 상관식을 보여 주고 있다[4].

$$\%BF = C_0 + C_1 \times [d^2(\text{Log}1/T)_A / d^2(\text{Log}1/T)_B] \quad (6)$$

여기서

$C_0, C_1$ : 계산된 조정 상수

$d_2(\text{Log}1/T)$ : 파장 A와 B에서 측정된 값

$\%BF$ : 퍼센트 비만도(% Body Fat)

광학적 방식은 백색 LED광원을 사용하여 신체에 지방이 많이 분포한 이두박근, 삼두박근 및 허벅지에 주사하고 포토다이오드를 사용하여 광의 강도를 측정한다.

수식 (7)은 수식 (4)에서 유도한 BIA 방식의 상관식 및 수식 (6)의 광학적 방식의 상관식을 조합하여 광전방식의 상관식을 유도 하였다.

$$\%BF = 10.849 - 13.052 \times B - 17.906 \times TR - 22.715 \times TH - 0.889 \times AGE - 0.589 \times BIA \quad (7)$$

여기서

B: 이두박근의 빛의 강도

TR: 삼두박근의 빛의 강도

TH: 허벅지에서 빛의 강도

AGE: 나이

BIA: BIA 방식에 의해 측정된 비만도

수식 (7)을 바탕으로 그림 4는 몸무게의 변화에 따른 BMI(Body Mass Index) 및 광학적 방식을 혼합한 것과 BIA 및 광학적 방식을 혼합한 방식의 상관식에 의한 비만도 변화를 보여 주고 있다. 비만도는 몸무게에 비례하지만 이것은 키, 몸무게, 특정부위의 비만 등에 의해서 영향을 같이 받는 것을 알 수 있다.

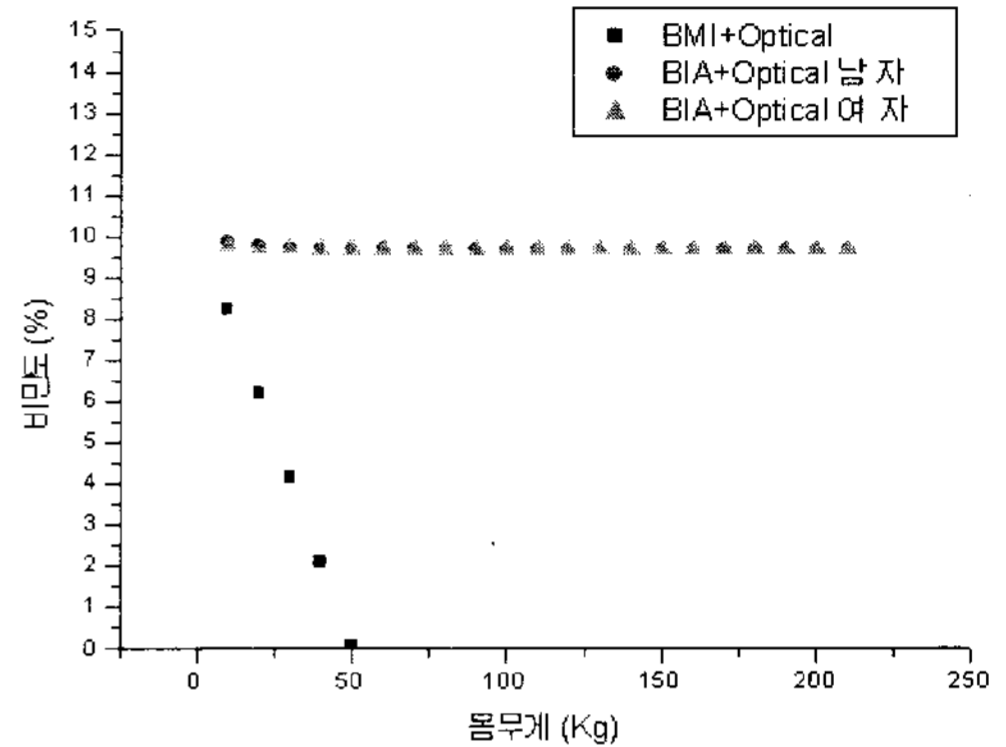


그림 4. 몸무게의 변화에 따른 BMI+광학적방식과 BIA+광학적방식의 비교

Fig. 4 Compare with BMI+ optical method and BIA + optical method by change of weight

그림 5는 키의 변화에 따른 BMI 및 광학적 방식과 BIA 및 광학적 방식을 혼합한 결과를 보여 주고 있다. 그림 4에서와 같이 키 또한 다른 파라미터에 영향을 같이 받는다는 것을 알 수 있다.

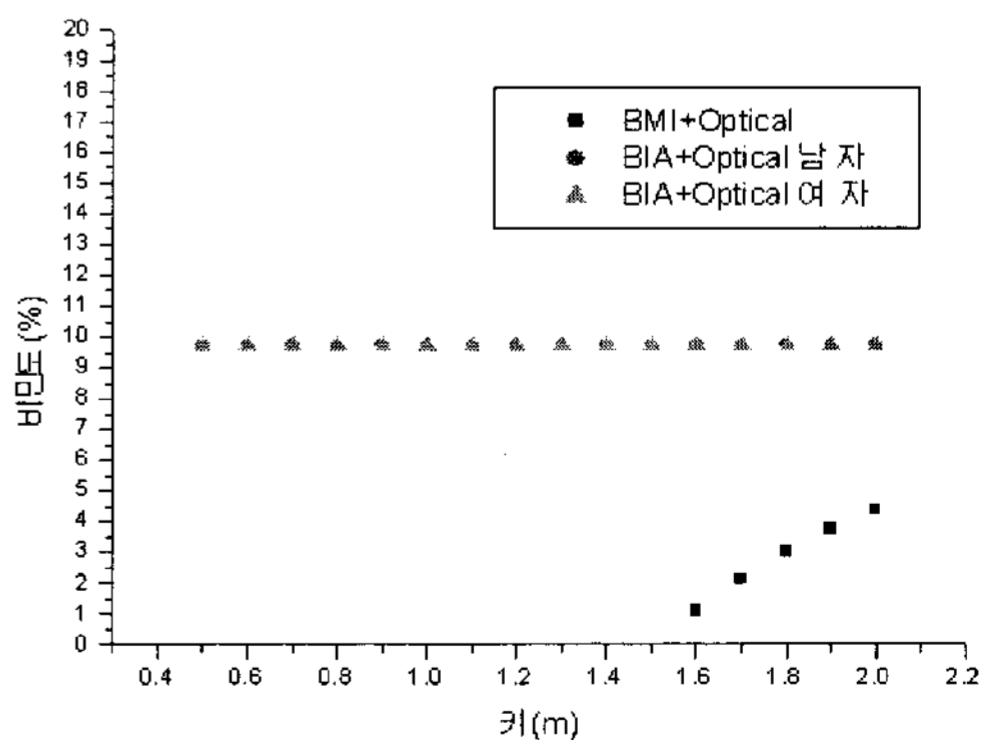


그림 5. 키의 변화에 따른 BMI+광학적방식과 BIA+광학적방식의 비교

Fig. 5 Compare with BMI+optical method and BIA + optical by change of height

위 상관식 모델을 실험을 통해서 확인 할 수 있었다.

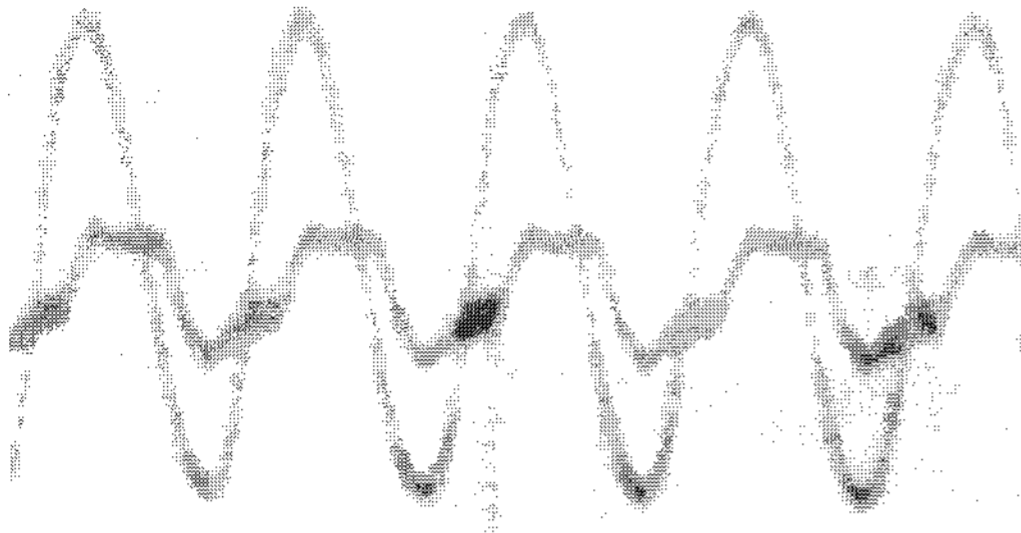


그림 6. 입력 50kHz 및 측정된 교류 신호  
Fig. 6 50kHz input and measured AC signal

그림 6은 BIA 방식에 의해서 5V, 50kHz의 신호 입력에 대한 신체에서의 측정 신호를 보여주고 있다. 여기서 측정된 위상차는 6도이고 전압차는 2.7V 이었다.

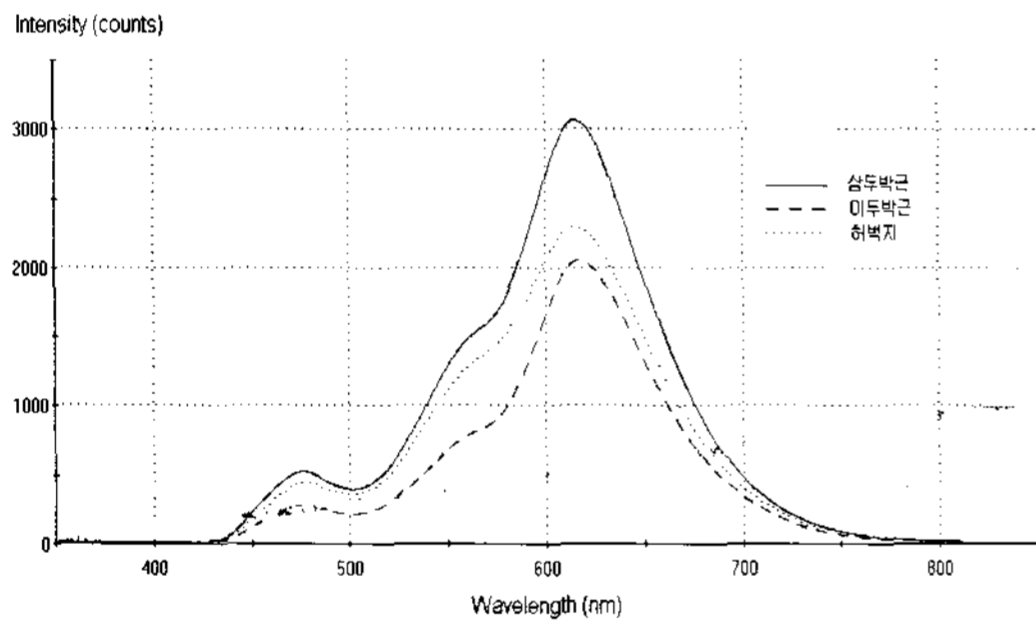


그림 7. 백색광에 의한 신체 부위별 스펙트럼  
Fig. 7 Each body region spectrum by white light

그림 7은 광학적 방식에 의해 측정된 신호를 보여주고 있다. 광원은 LED 백색광원을 사용하였다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 지방이 많은 삼두박근이 이두박근보다 광 강도가 강하게 나타나는 것을 알 수 있었다.

그림 8은 수식 (7)에서 유도된 광전방식 상관식에 의해 비만도 계산을 위한 블록도를 보여주고 있다. 정확도를 높이기 위해서 먼저 수식 (5) 및 수식 (6)의 상관식에 의해서 각각 BIA 방식과 광학적 방식의 비만도를 계산한다. 계산된 값을 Pearson의 상관식에 의해서 상관계가 1이 되면 수식 (7)에서 유도된 상관식에 의해서 최종적으로 광전방식에 의한 비만도를 계산한다.

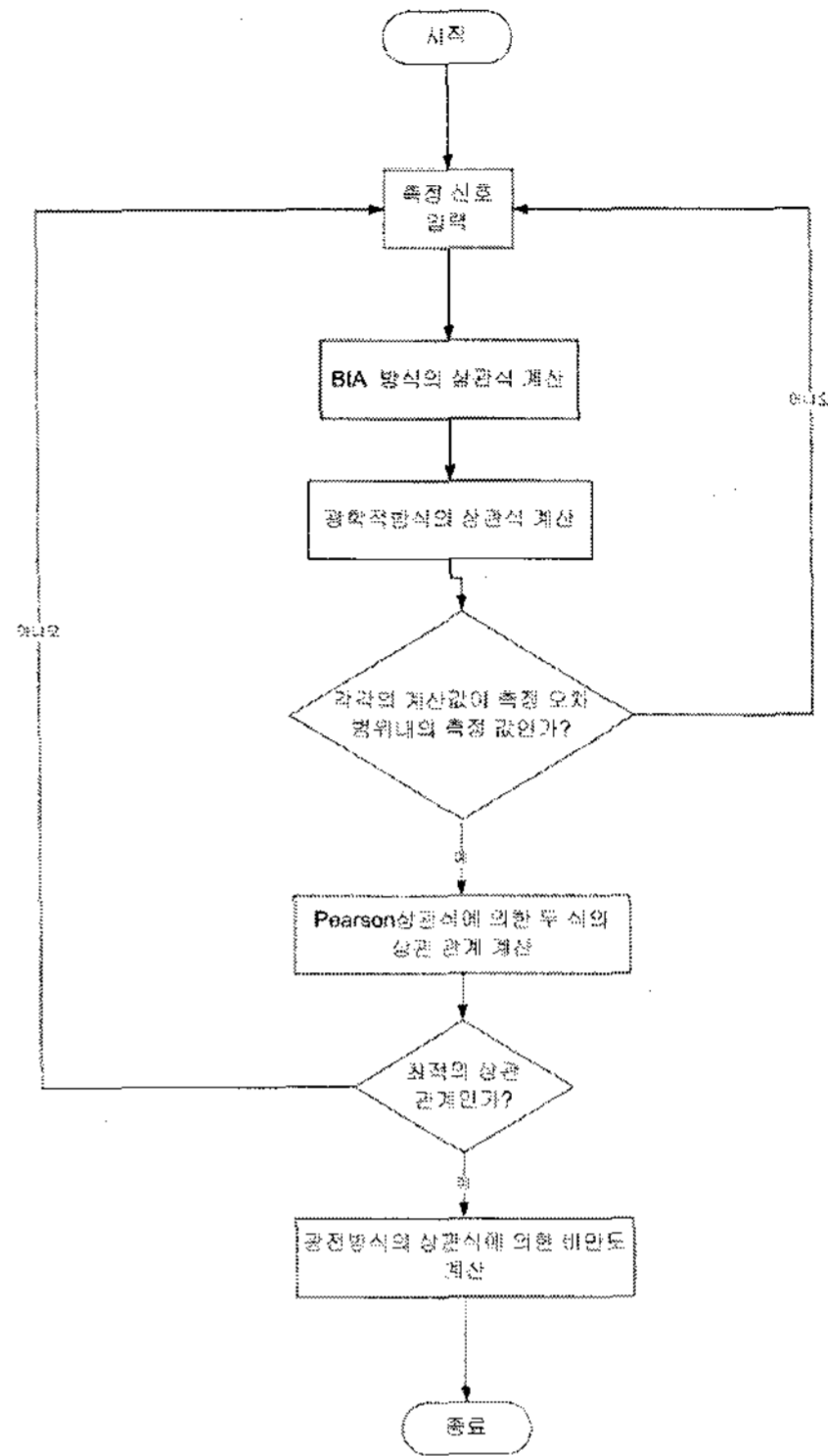


그림 8. 광전방식 상관식에 의한 비만도 계산 블록도  
Fig. 8 Calculation of body fat by photo-electricity correlation method block-diagram

실험을 통해서 얻어진 6도의 위상차, 2.7V의 전압, 광 강도를 수식 (7)에 대입하여 20%의 비만도를 계산 할 수 있었다.

수식 (8) 및 수식 (9)는 기존의 BIA방식 및 광학적 방식의 상관식을 보여 주고 있다[5],[6].

$$FFM(kg) = 0.00091186 \times H^2 - 0.01466 \times R + 0.1555 \times W + 0.1417 \times X - 0.0833 \times AGE + 20.05 \quad (8)$$

$$Db(g/cc) = 1.02823066 - 0.080035 \times B - 0.000459 \times AGE - 0.000754 \times W + 0.000493 \times H \quad (9)$$

여기서 W는 몸무게, Db는 체밀도를 나타낸다.

본 연구의 실험 결과를 수식 (8) 및 수식 (9)에 대입하여 비만도를 계산한 결과 각각 모두 약 21%의 결과를 얻을 수 있었다. 본 연구에서 유도된 수식 (7)의 결과 값과

유사한 상관 관계를 갖는 것을 알 수 있었다.

결론적으로 광전방식에 의해 유도 되어진 상관식은 광학적 방식의 단점 및 전기적 방식의 단점을 보완하고 광학적 방식의 장점 및 전기적 방식의 장점을 높일 수 있는 상관식을 유도하였다.

### V. 결 론

본 논문에서는 광학적 방식 및 BIA 방식을 혼합한 상관 모델을 설계 하였으며 이를 실험을 통해서 확인 하였다. BIA 방식의 경우 5V, 50kHz의 신호 입력에 대해서 6도의 위상차 및 2.7V의 전압차를 보였다. 또한 광학적 방식의 경우 상대적 지방이 많이 분포한 이두박근, 허벅지, 삼두박근 순으로 빛의 강도가 높은 것을 보였다. 광전방식으로 측정 한 값을 유도된 상관식에 의해 20%의 비만도를 계산 할 수 있었다. 이는 기존의 단일 측정방식의 단점을 보완하고 장점을 높일 수 있는 상관식을 유도하였다.

### 참고문헌

[1] D.W. Kim, CG. Song, and S.K. HWang, measurement of body fat by Impedance Technique, Journal of KOSOMBE vol. 13, No.2, pp133-139, 1992.

[2] E.C. Hoffer, C. Meador, & D.C. Simpson, Correlation of whole-body impedance with total body water volume. Journal of Applied Physiology, vol. 27, pp 531-534, 1969.

[3] 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.

[4] Robert A. Oppliger, R. Randall Clark and David H. Nielsen New Equations Improve NIR Prediction of Body Fat Amang High School Wrestler Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, vol.30, pp 536-543, 2000.

[5] Heyward VH, Cook KL, Hicks VL, Jenkins KA, Quatrochi JA, Wilson WL. Predictive accuracy of three

field methods for estimating relative body fatness of nonobese and obese women. International journal of sport nutrition. vol.2, pp75-86, 1992.

[6] Segal KR, VanLoan M, Fitzgerald PI, Hodgdon JA, Van Itallie TB. Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four-site cross-validation study. Am J Clin Nutr. vol.47, pp 7-14, 1988.

### 저자소개

오세용(Se Yong Oh)



1998년 2월 목원대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
2000년 8월 목원대학교 IT공학과 졸업(공학석사)

2004년 2월 ~ 현재 목원대학교 IT공학 공학박사과정  
※관심분야: 생체 신호 측정

이영우(Young-Woo Lee)



1990년 2월 일본 게이오대학 전기공학과 박사 졸업  
1990년 3월~1992년 3월 독일 막스 프랑크 연구소 연구원

1992년 3월~현재 목원대학교 정보전자영상공학부 교수  
※관심분야: 광계측 및 센서, biomedical photonics