

# 광학적 분석방법을 이용한 보폭측정

## Measurement of Stride Length Using Optical Method

鄭求仁\* · 田載燾<sup>†</sup> · 李康輝\* · 宋旻宣\*

(Gu-In Jung · Jae-Hoon Jun · Kang-Hwi Lee · Min-Sun Song)

**Abstract** - Since conventional methods for measuring stride length(distance) are many weaknesses, optical methods have been developed to measure stride length(distance) of human pedestrians. IR(Infrared) elements and Power LED(Light Emitting Diode) with two types of lens were used to correlate detected light intensity with stride length(distance). The suggested methods in this study are simple, convenient, and cost effective. The results can be used to analyze walking patterns of normal and disabled men, and to monitor the recovering processes of the disabled patients.

**Key Words** - Beam waist, (Light)Intensity, Gaussian Beam Profile, Stride length(Distance), Lens

### 1. 서 론

보행은 신체 각부의 복합적인 운동 현상의 하나로 신체 각부의 운동이 정상 범위 내에서 일어나는 정상 보행과 보행의 구성 요소 중 어느 하나 혹은 둘 이상의 요소가 본래의 기능을 발휘하지 못하는 비정상 보행으로 크게 나눌 수 있다. 정상 보행을 연구하는 것은 비정상 보행을 평가하는데 직접적인 지식을 제공할 뿐만 아니라 치료에 있어서도 많은 도움을 주게 되며 비정상 보행의 평가는 때로 질병을 진단하는데 좋은 단서가 된다는 점에서 아주 중요하다. 또한 운동선수들에게도 보행분석은 중요한 의의를 갖는다. 예를 들면 정상 컨디션과 비정상 컨디션일 때와 부상 전후의 보행 패턴이 달라지는 모습을 보인다. 이처럼 보행은 정상인, 비정상인, 운동선수 등 우리 삶의 질에 미치는 영향이 크므로, 보행기능의 평가는 재활치료적인 측면에서 매우 중요한 역할을 한다[1]. 그 중 보폭은 사람들의 건강상태 또는 기능을 표현하는 기준이 되기도 한다. 예를 들면, 질병 또는 부상을 당한 사람들의 보폭은 정상인에 비해 기능이 떨어지고, 운동선수들은 평상시와 부상 후 또는 컨디션이 좋지 않은 상태와는 다른 패턴을 나타낸다.

오늘날 보행분석방법은 관찰적 보행분석에서부터 첨단 컴퓨터화된 동작분석법에 이르기까지 다양하다. 이 방법들의 장·단점을 설명해보면,

(1) 적외선 카메라와 힘측정판 방식의 보행분석 시스템은 각각 정확한 3차원의 운동형상학(kinematics)과 운동역학

(kinetics)적 검사를 할 수 있다. 이 방법은 분석이 객관적이고 자료가 광범위하여 질이 좋지만, 고가이고 숙련된 검사자가 필요하며 동작분석실이라는 한정된 공간에서만 측정이 가능하고, 측정하고자 하는 부위마다 적외선 마커를 붙여야 되고, 특수한 경우는 측정이 불가하다는 점이 있다[2].

(2) 압력센서를 이용한 발 스위치(foot switch) 보행분석 방법은 피검자가 보행시 지면과 족하부의 접촉여부를 압력센서를 이용하여 감지하는 방식이다. 이 방법은 정상인에게는 정확한 데이터가 나오지만, 비정상인 같은 경우는 보행의 발 접촉 감지에 어려움이 있다.

(3) 가속도계 방식은 피검자의 허리 또는 하지에 부착하여 가속도 신호를 측정하여 일상생활에서 일어나는 움직임의 빠르기를 분석하여 보행주기를 검출하는 방법이다[3]. 이 방법은 비용이 저렴하고 작고 가볍기 때문에 휴대가 편리하지만 이 방법을 이용하여 보폭을 측정하고자 한다면 두 번 적분하여 거리를 얻어내기 때문에 오차의 범위가 클 수 있다는 단점이 있다.

그래서 이러한 단점들을 보완하기 위해서 본 연구에서는 임상실험에 있어 보행분석을 효율적으로 측정하고 평가하기 위한 조건으로 사용자가 편리하게 쓸 수 있도록 간단하고 휴대가 용이한 보행분석 시스템을 개발하게 되었다. 광학적 분석방법을 이용하여 두 가지 방법으로 보폭측정 실험을 하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

(i) 적외선 소자를 이용한 보폭측정방법으로 적외선 소자는 가시광선 영역 파장대역보다 긴 파장을 보이며, Beam의 Intensity가 강하고 Beam waist가 작다. 이 말은 Beam이 거의 평행하게 진행된다는 점이다.

(ii) Power LED를 이용한 보폭측정방법으로 Power LED의 장점은 적외선소자와는 달리 우선 우리가 눈으로 빛을 볼 수 있으며, Beam의 Intensity가 일반 LED에 비해 강하다는 점이다.

두 가지 방법 모두 빛을 이용하여 보폭을 측정하고자 하

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 建國大 醫療生命大 醫學工學部 助教授,  
建國大 醫工學實用技術研究所 · 工博

E-mail : jjun81@kku.ac.kr

\* 學生會員 : 建國大 醫學工學部 碩士課程

\* 學生會員 : 建國大 醫學工學部 學士課程

接受日字 : 2008年 4月 16日

最終完了 : 2008年 5月 15日

는 것으로 실시간으로 측정을 하기 위해 무선통신이 가능한 모듈을 사용하였다. 그리고 이 연구에서 접근한 두 방법의 차이점은 눈에 보이는 빛과 눈에 보이지 않는 빛이라는 점이다. 이러한 장점들을 이용하여 보행을 분석할 수 있는 방법을 고안하게 되었다[4-9]. 이것들을 이용하여 보폭을 측정하게 된다면 한정된 공간이 아니라 자유로운 공간에서 피검자의 보폭을 측정할 수 있고, 또한 피검자를 실시간으로 모니터링하고 보폭을 확인할 수 있다.

2. 실험재료 및 방법

그림 1은 광학적 방법을 이용한 보폭측정방법의 개략도로 최종적으로 구현하고자 하는 것을 표현한다. 본 실험의 목적은 피검자의 양쪽 발에 송신부와 수신부를 달고 피검자가 자유공간에서 보행을 할 때 송신부에서 나오는 아날로그 신호를 수신부에서 감지하여 이 신호를 무선모듈을 통하여 컴퓨터로 전송시켜 A/D 변환된 데이터를 실시간으로 Labview 7.1을 통해 피검자의 보행패턴과 보폭을 볼 수 있도록 하는 것이다.

그림 2는 실제 실험에 논문에서 다루는 내용으로써 본 연구에서 사용된 방법이다. 이는 그림 1에서 보는 것과 유사하며 다른 점은 발이 아닌 광학용 브레드 보드위에서 실시한 것이다. 본 연구는 광학용 브레드보드위에 송신부를 고정하고 수신부를 좌·우 & 뒤로 이동시키면서 송신부에서 나오는 아날로그 신호를 수신부에 있는 무선모듈로 받아서, A/D 변환된 신호를 Labview를 통해 데이터를 저장하고, PC에 저장된 데이터를 MATLAB을 사용하여 원 데이터와 흡사한 경향의 수식을 얻어내어 최종적으로 Labview를 통해 패턴을 그래프로 나타내는 방법을 사용하였다.

그림 3은 본 논문에서 설명할 두 가지 Source로 모두 동일한 조건과 동일 방법으로 실시한 데이터 수집방법이다. 광학용 브레드보드 위에 송신부를 고정시키고, 수신부를 위·아래, 그리고 뒤로 거리를 이동시키면서 실시한 실험으로 유선·무선 두 가지 방법으로 실시하였다.

그림 4는 이 실험에서 사용된 무선모듈로 자유로운 공간에서 피검자를 실시간으로 모니터링하고 보폭을 측정하기 위해 사용하였다. 이에 사용된 프로세서는 소형, 저 전력성이며, 3.3V의 저전압으로 작동되는 Texas Instrument사의 MSP430F1232이다. 또한 저 전력으로 고속의 무선 데이터 송수신을 위하여 Nordic Semiconductor사의 nRF24L01칩을 사용하였고, 측정 모듈의 소형화를 위하여 세라믹 칩 안테나 (Ceramic Chip Antenna)를 사용하여 무선 송·수신부를 구성하였다. 그리고 무선으로 전송된 데이터를 노트북으로 연결하기 위해서 USB 프로토콜과 RS232C 프로토콜을 연결하는 USB-UART Bridge를 지원하기 위해서 Silicon Lab.사의 CP2102 칩을 사용하여 PC의 USB 단자에 연결하여 할 수 있는 수신모듈을 구현하였다[10].

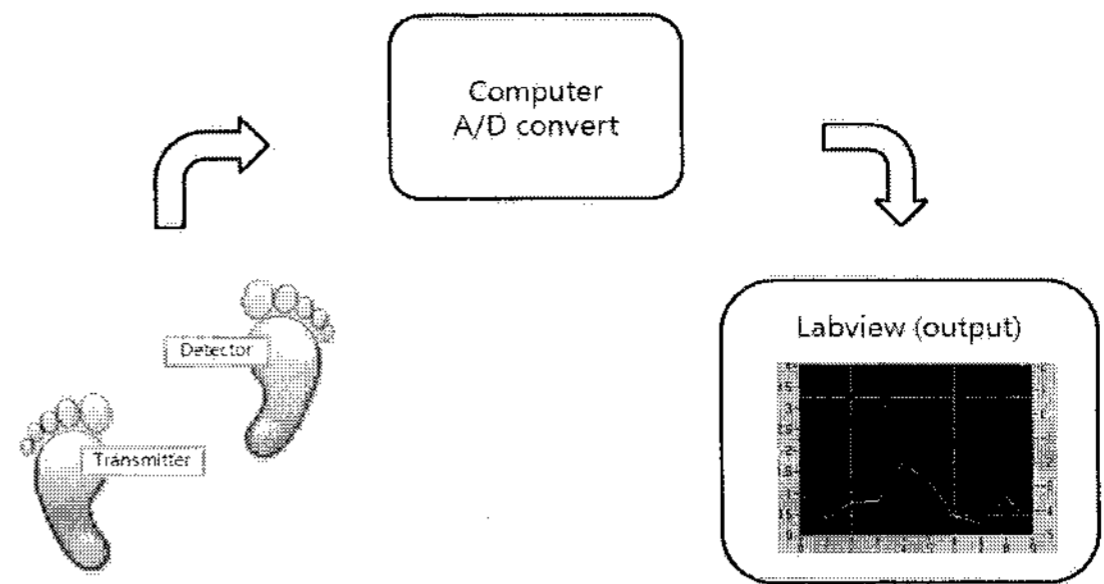


그림 1 광학적 방법을 이용한 보폭측정의 개략도  
Fig. 1 Schematic of measuring stride length using optical method

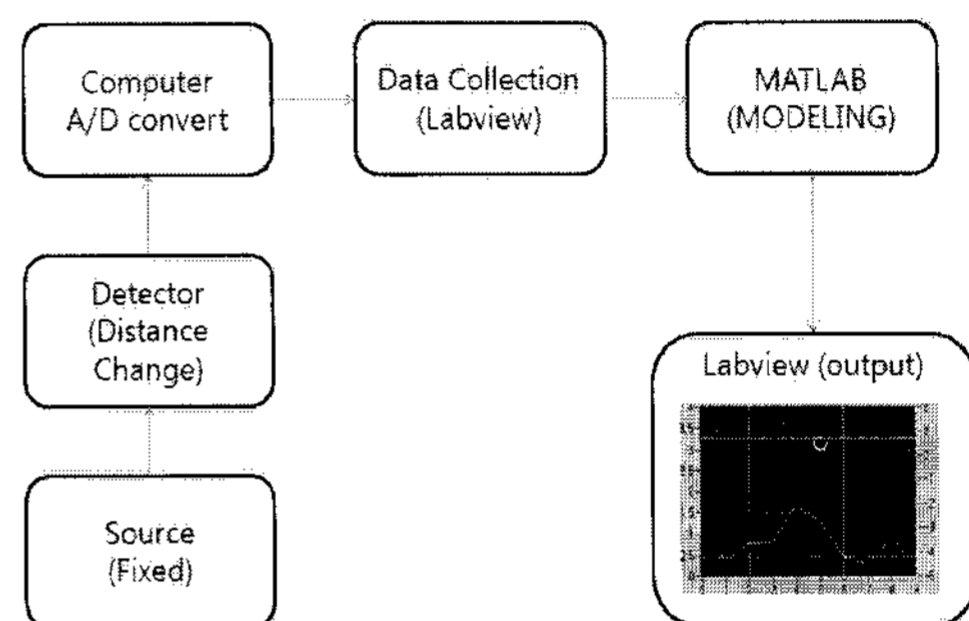


그림 2 실제 실험에 사용된 방법의 개략도  
Fig. 2 Schematic of experimental procedures

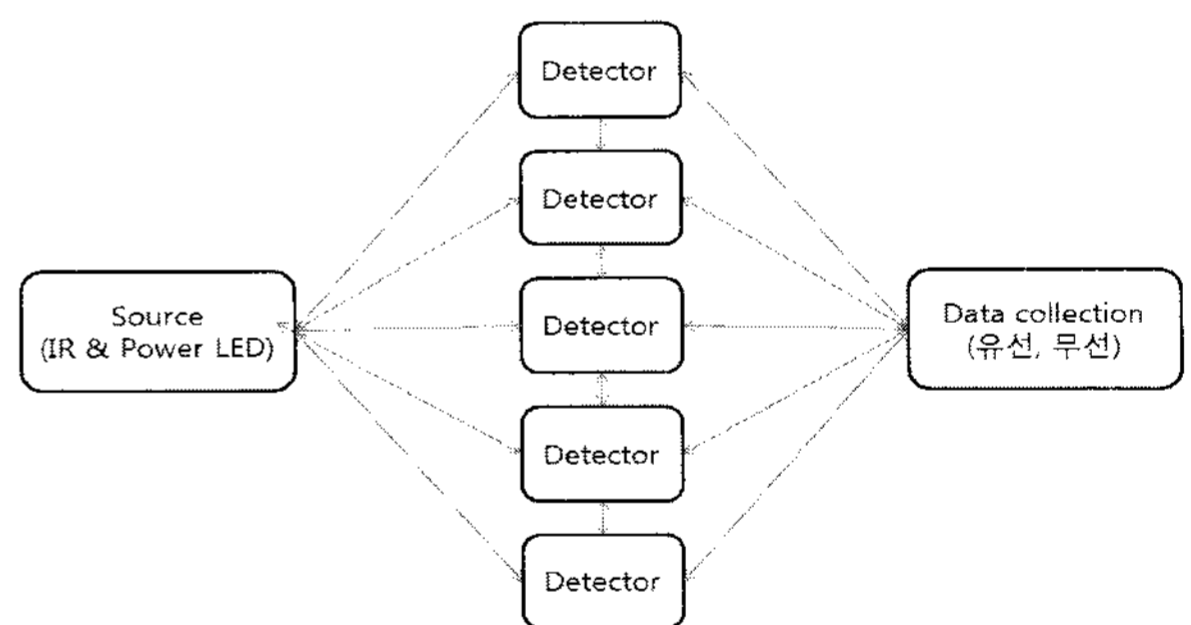


그림 3 데이터 수집방법  
Fig. 3 Collections of experimental data

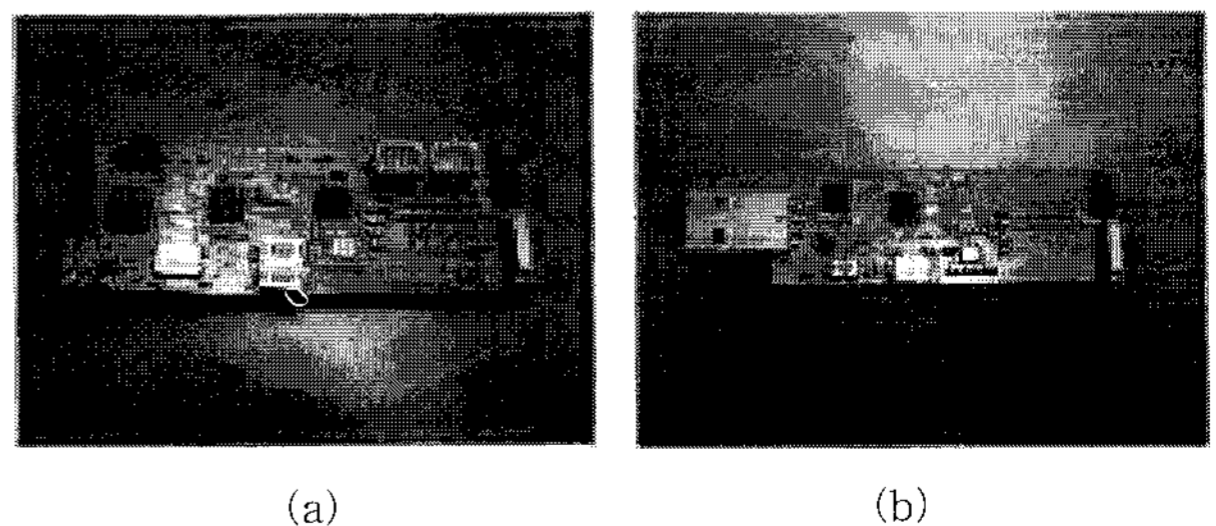


그림 4 실험에 사용된 무선모듈  
Fig. 4 Wireless modules  
(a) 실험에 사용된 모듈의 송신부 (transmitter)  
(b) 실험에 사용된 모듈의 수신부 (detector)

### 2.1 적외선소자를 이용한 보폭측정

첫 번째 방법은 일반 LED보다 Intensity가 높고 Beam waist가 작은 적외선 소자를 사용한 것으로 보폭측정 실험에 사용된 재료는 적외선 소자(송신부: EL-1KL2, 수신부: ST-1KLA), 휘어지는 브레드보드, 무선통신이 가능한 모듈이 사용되었고 유선실험의 동작전원은 송신부·수신부 5V, 무선모듈로 실시한 실험의 동작전원은 송신부·수신부 3V로 진행되었다.

그림 5는 적외선소자를 사용한 보폭측정 실험에 사용된 모듈을 나타낸 그림으로 그림의 왼쪽은 송신부, 오른쪽은 수신부이며 수신부의 신호는 무선으로 데이터를 받을 수 있도록 고안되었다. 이 실험은 유선·무선으로 실시되었으며 그림 3과 같이 광학용 브레드 보드 위에서 송신부를 고정시키고, 수신부를 위·아래, 그리고 뒤로 이동시키면서 거리에 따른 빛의 Intensity와 Beam waist의 관계를 얻어내고 [11-15], 이 관계를 MATLAB을 이용하여 두 가지 방법으로 모델링하고 그것을 Labview로 시뮬레이션 하였다.

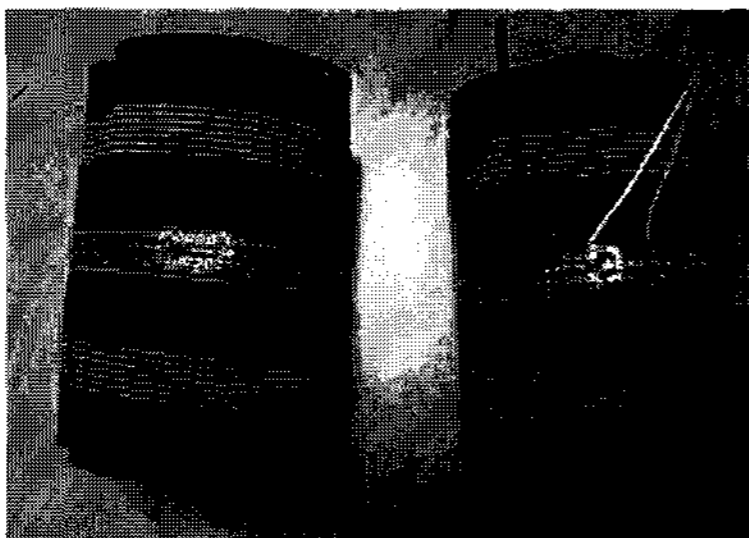


그림 5 사용된 적외선 소자(좌 : 송신 부, 우 : 수신 부)  
Fig. 5 IR elements (left : transmitter, right : detector)

### 2.2 Power LED를 이용한 보폭측정

두 번째는 우리가 눈으로 빛을 볼 수 있으며 빛의 Intensity가 일반 LED에 비해 월등히 좋은 Power LED와 Beam waist를 조절할 수 있도록 lens를 사용한 방법으로 보폭측정 실험에 사용된 재료는 송신부: Power LED (PP625-8L615-STAR 적색), 두 종류의 lens(15°, 45°), 수신부: ST-1KLA, 무선통신이 가능한 모듈이 사용되었고 유선·무선실험의 동작전원 송신부: 5V, 수신부: 3V가 사용되었다.

그림 6은 Power LED를 사용한 보폭측정 실험에 사용된 모듈을 나타낸 그림으로 좌로부터 Power LED, 두 종류의 렌즈(15°, 45°)이다. 이 실험에서 렌즈를 사용한 이유는 앞서 언급한 바와 같이 Power LED만 사용할 경우 빛이 너무 큰 Beam waist를 가지기 때문에 그것을 보정하기 위해 사용된 것이다. 이 실험역시 적외선 소자를 이용한 실험과 동일한 방법으로 유선·무선으로 실시되었으며 그림 3과 같이 광학용 브레드 보드 위에서 송신부를 고정시키고, 수신부를 위·아래, 그리고 뒤로 이동시키면서 거리에 따른 빛의 Intensity와 Beam waist의 관계를 얻어내고[1-5], 이 관계를

MATLAB을 이용하여 두 가지 방법으로 모델링하고 그것을 Labview로 시뮬레이션 하였다.

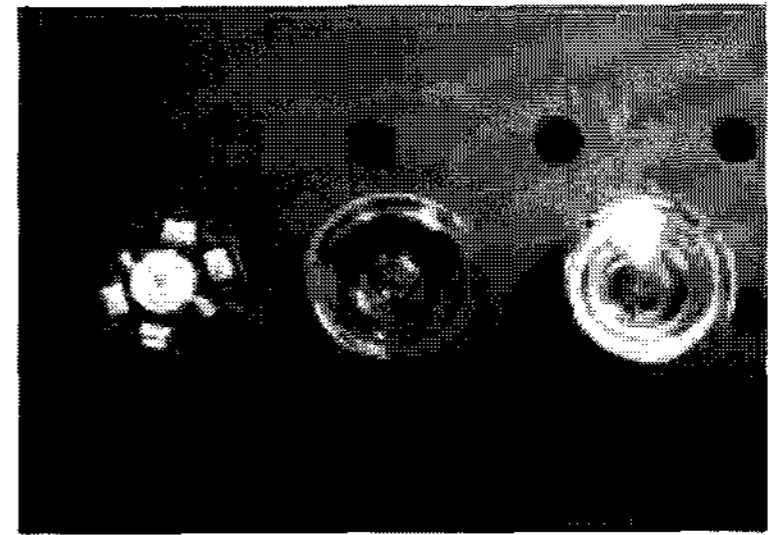


그림 6 Power LED와 Lens (좌로부터 15°, 45° lens)  
Fig. 6 Power LED and Lens (left 15°, 45° lens)

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 적외선소자를 이용한 보폭측정

광학적 보폭측정의 첫 번째 방법인 적외선 소자를 이용한 실험으로 거리에 따른 민감도 변화와 Beam waist를 그림 2, 그림 3과 같은 방법으로 실시하였고, 유선·무선 실험 결과를 5th order equation과 exp equation 두 가지 방법으로 모델링하였다.

$$y = a_0x^5 + a_1x^4 + a_2x^3 + a_3x^2 + a_4x + a_5 \quad (1)$$

여기서

$y$  : Intensity

$x$  : A/D 변환된 신호로 거리에 따른 Original Data

$a_0 \sim a_5$  : Coefficients

$$y = a_0e^{-a_1x} \quad (2)$$

여기서

$y$  : Intensity

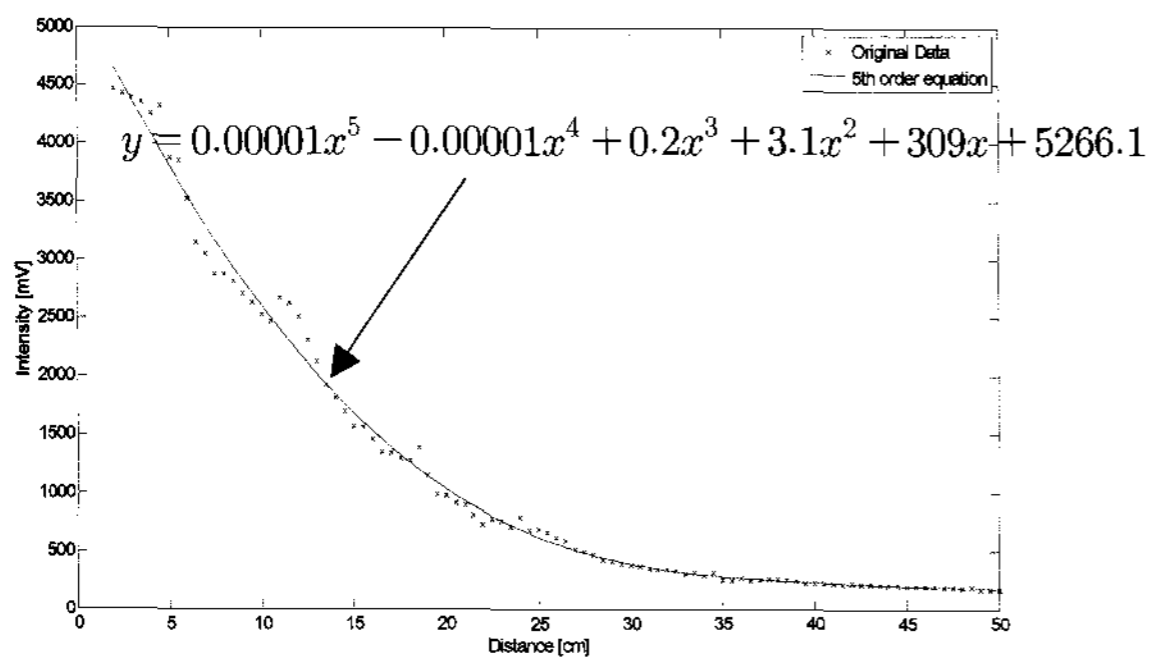
$x$  : A/D 변환된 신호로 거리에 따른 Original Data

$a_0 \sim a_1$  : Coefficients

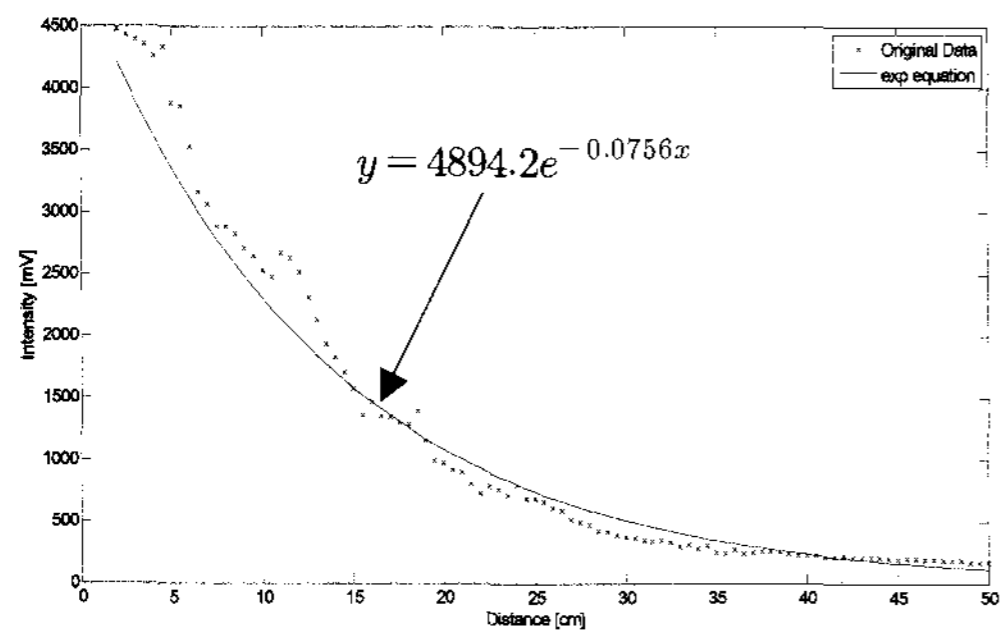
그림 7의 (a)와 (b)는 유선 실험결과로 동작전원은 송신부 5V, 수신부 3V이며 거리에 대한 민감도 변화의 데이터를 MATLAB을 사용하여 원 데이터와 5차 방정식(a), 원 데이터와 exp함수(b)로 모델링한 것이다.

(1)식을 바탕으로 (a)의 각각의 계수를 찾아내고, (2)식을 바탕으로 (b)의 각각의 계수를 찾아낸 결과수식을 그림과 함께 나타내었다.

그림 8의 (a)와 (b)는 무선 실험결과로 동작전원은 송신부·수신부 3V이며, 거리에 대한 민감도 변화의 데이터를 MATLAB을 사용하여 원 데이터와 5차 방정식(a), 원 데이터와 exp함수(b)로 모델링한 것이다.



(a)



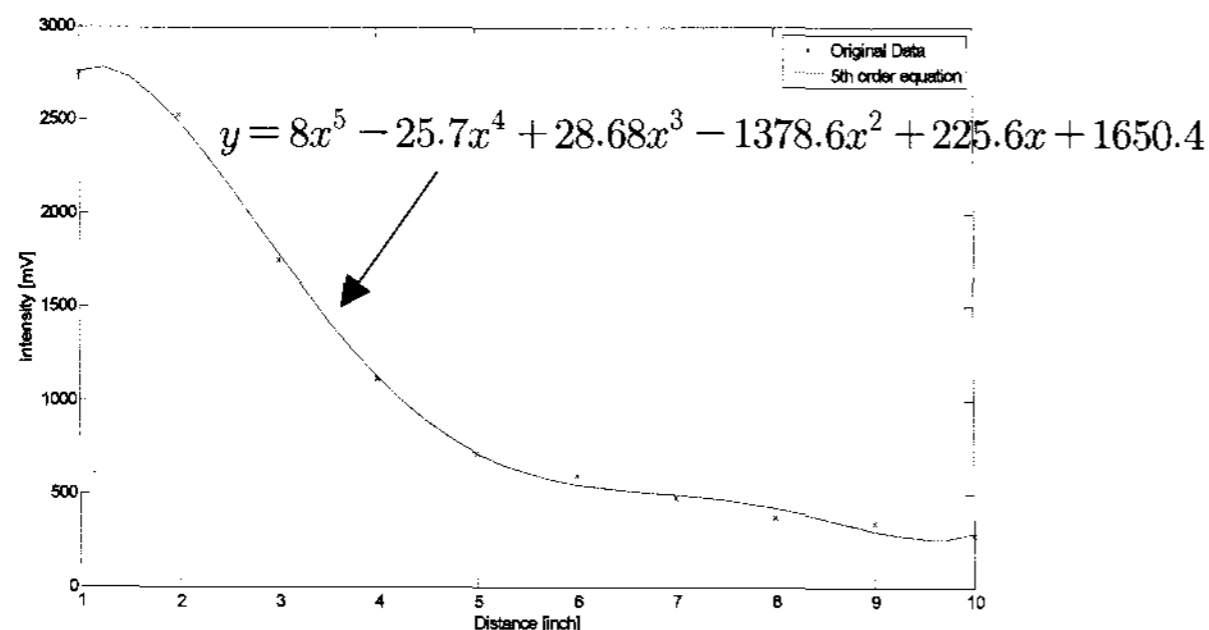
(b)

그림 7 거리에 따른 Intensity 변화

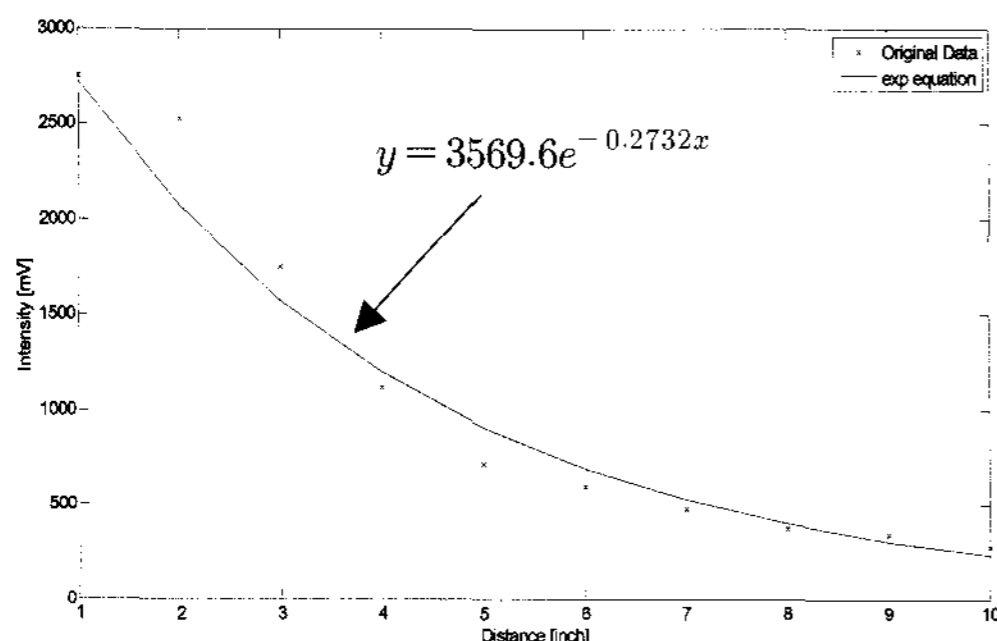
Fig. 7 Distance VS Intensity

(a) Origin data with 5th order equation

(b) Original data with exp equation



(a)



(b)

그림 8 무선모듈을 사용한 거리에 따른 Intensity 변화

Fig. 8 Distance VS Intensity with wireless modules

(a) Original data with 5th order equation

(b) Original data with exp equation

(1)식을 바탕으로 (a)의 각각의 계수를 찾아내고, (2)식을 바탕으로 (b)의 각각의 계수를 찾아낸 결과수식을 그림과 함께 나타내었다.

MATLAB을 사용하여 (1)식과 (2)식 두 가지방법으로 모델링을 실시하였다. 각각의 모델링은 각자의 장·단점을 가지고 있는데, (1)식은 원 데이터와 모델링 데이터의 경향이 (2)식보다 정확한 반면, 수식이 복잡하여 계산과정에 걸리는 시간이 (2)보다 오래 걸린다는 장점이 있다. 두 가지 식을 이용해서 수식을 역 변환하여 Labview에 적용하면 A/D 변환되어 들어오는 데이터값으로부터 거리를 실시간으로 얻을 수 있다.

다음으로는 Beam waist를 측정하기 위한 실험이다. Beam waist를 측정하는 이유는 앞서 기술한 것과 같이 적외선소자의 특성 때문인데 일반 LED와 같은 소자는 Beam waist가 큰 반면, 적외선 소자는 Beam waist가 작다. 그러나 이것이 보폭측정에는 오히려 단점이 될 수 있다. 그 이유는 넓은 범위의 빛이 공급되어야 보폭을 측정하는데 유용하기 때문이다. 그러한 이유로 Beam waist를 측정하게 되었고 Beam waist는 Gaussian Beam Profile(GBP)를 통하여 분석하였다.[1-5]

그림 9는 광학용 브레드보드 위에서 송신부를 고정시키고 수신부를 뒤로 3~8inch 좌우로 0.25 inch씩 ±1 inch 이동시키면서 거리에 대한 빛의 Intensity와 Beam waist를 측정한다. 그래프로 가까운 거리에서는 center off에 따른 Intensity 변화가 크지만, 멀어짐에 따라 변화율이 작아짐을 볼 수 있다. 적외선 소자의 Beam waist의 3-D 그래프로 GBP는 Gaussian-model인 (3)식을 참고하여 (4)식을 세워 모델링을 수행하였다.

$$I = I_0 \cdot e^{-\left(\frac{x}{w_b}\right)^2} \quad (3)$$

여기서

$I$  : 빛의 강도

$I_0$  : 빛의 초기 강도

$w_b$  : Beam waist

$x$  : 거리

$$y = a_0 e^{-a_1 x^2} \quad (4)$$

여기서

$y$  : Intensity

$x$  : A/D 변환된 신호로 거리에 따른 Original Data

$a_0 \sim a_1$  : Coefficients

이 실험은 그 동안 실시되었던 실험과는 달리 Beam waist의 특성을 파악하고 거리에 따른 민감도 변화를 Gaussian beam profile로 재해석 한 실험이다. 그러나 이 실험은 보폭측정에 있어서 Intensity는 충분하였지만, Beam waist가 너무 작은 관계로 실제 발목에 채우고 실험을 했을 경우 감도가 좋지 않다는 한계점이 있었다.

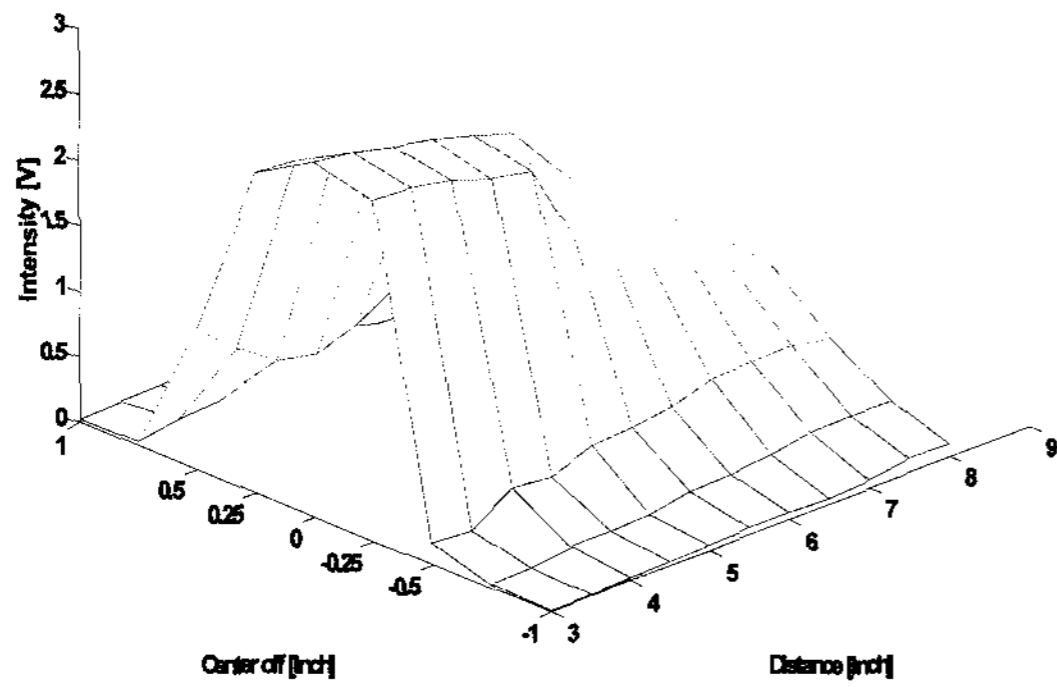


그림 9 적외선 소자의 Beam waist (3-D)  
Fig. 9 Beam waist of IR elements (3-D)

3.2 Power LED를 이용한 보폭측정

광학적 보폭측정의 두 번째 방법인 일반 LED보다 Beam Intensity가 높은 소자인 Power LED와 Beam waist를 조절하기 위하여 Power LED앞에 두 종류의 lens(15°, 45° lens)를 송신부에 장착하여 실시한 실험으로 거리에 따른 민감도 변화와 Beam waist를 그림 2, 그림 3과 같은 방법으로 실시하였고 실험 결과를 다음과 같은 방법으로 모델링하였다.

그림 10은 Power LED와 두 종류 lens를 사용한 거리에 따른 민감도 변화를 나타낸다. 송신부에 두 종류의 lens를 바꾸어 끼면서 실시하였고 광학용 브레드보드위에서 뒤로 0.5inch씩 0~17inch 이동시켜 얻어낸 결과 값의 그래프이며 그림에서 보면 각각의 lens마다 다른 양상을 관찰 할 수 있다. 즉 보폭이 작은 비정상인과 상대적으로 큰 정상인의 운동 분석에 각기 다른 렌즈를 사용하여 그 Resolution을 높일 수 있는 근거를 확보한 예이다.

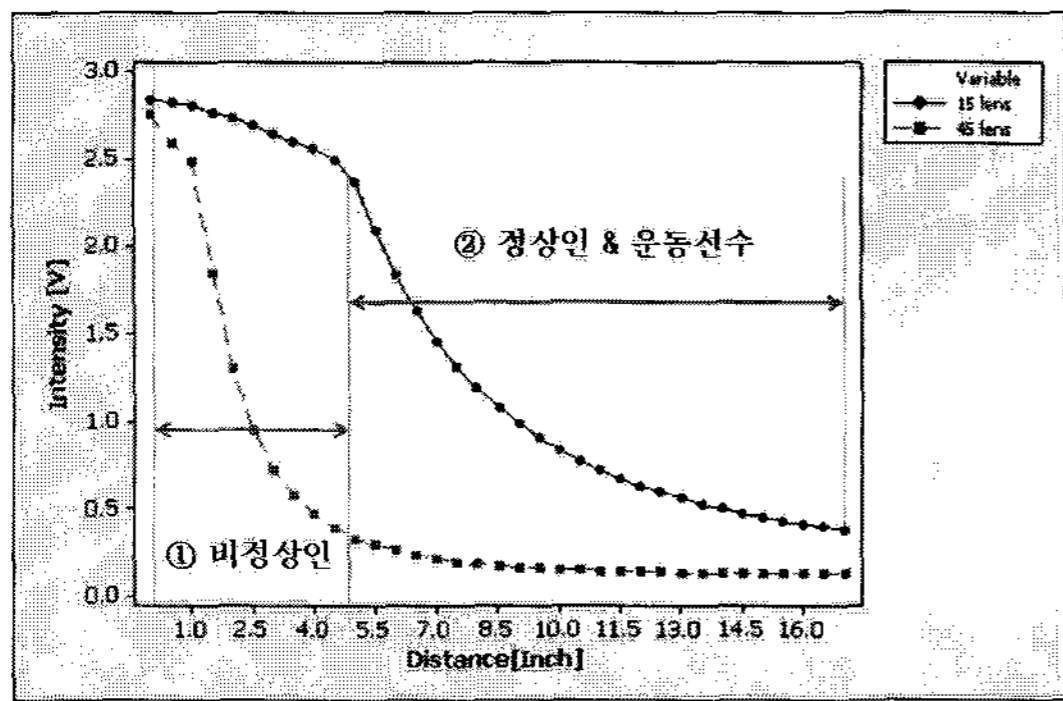


그림 10 Power LED와 두 종류 lens를 사용한 거리에 따른 민감도변화  
Fig. 10 Distance VS Intensity Using Power LED and two types lens

그림 11은 거리에 따른 민감도 변화로써 (1)식을 이용하여 모델링한 것으로 각각의 계수 값을 찾고 원 데이터와 5차 방정식을 이용하여 얻어낸 데이터를 같이 그려낸 그림이다.

그림 12는 Power LED앞에 두 종류의 lens(15°, 45° lens)를 송신부에 장착하여 각각의 Beam waist를 확인한 내용이

다. 이 실험은 Power LED의 높은 Intensity값을 이용하여 실시한 실험으로 Power LED만 사용할 경우 빛이 너무 큰 Beam waist를 가지기 때문에 그것을 보정하기 위하여 두 종류의 lens를 사용하였다. 이 실험 역시 적외선 소자를 이용한 실험과 동일한 방법으로 거리에 따른 민감도 변화와 Beam waist를 측정하였다. 이 실험결과 사용된 lens의 종류에 따라 피검자의 상태를 고려하여 보폭을 측정할 수 있는 가능성을 발견하였다.

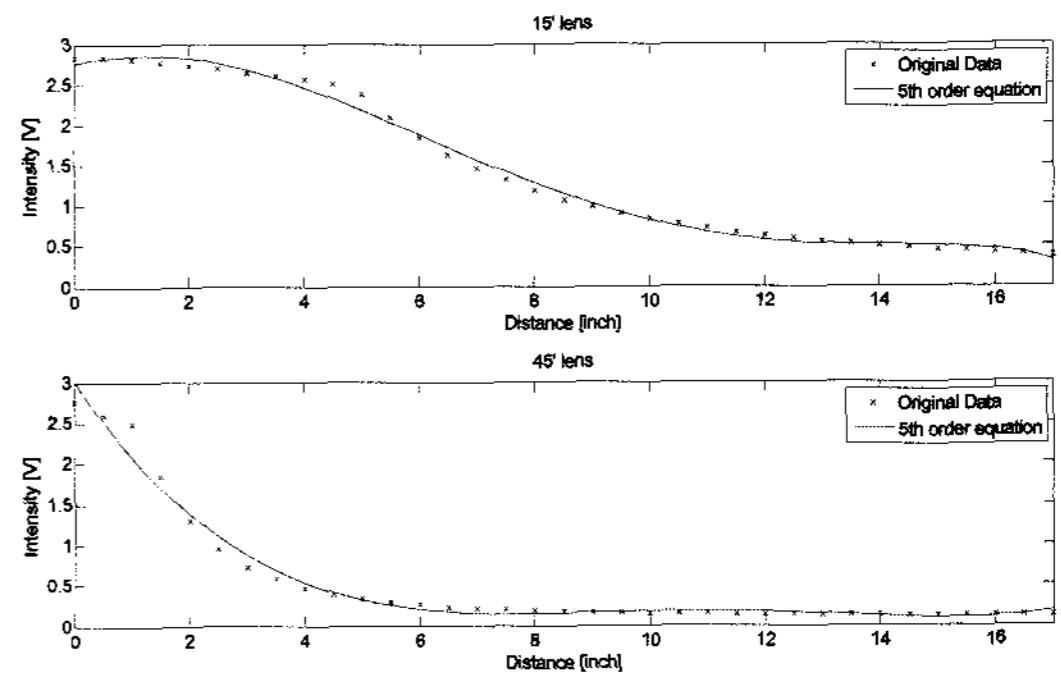
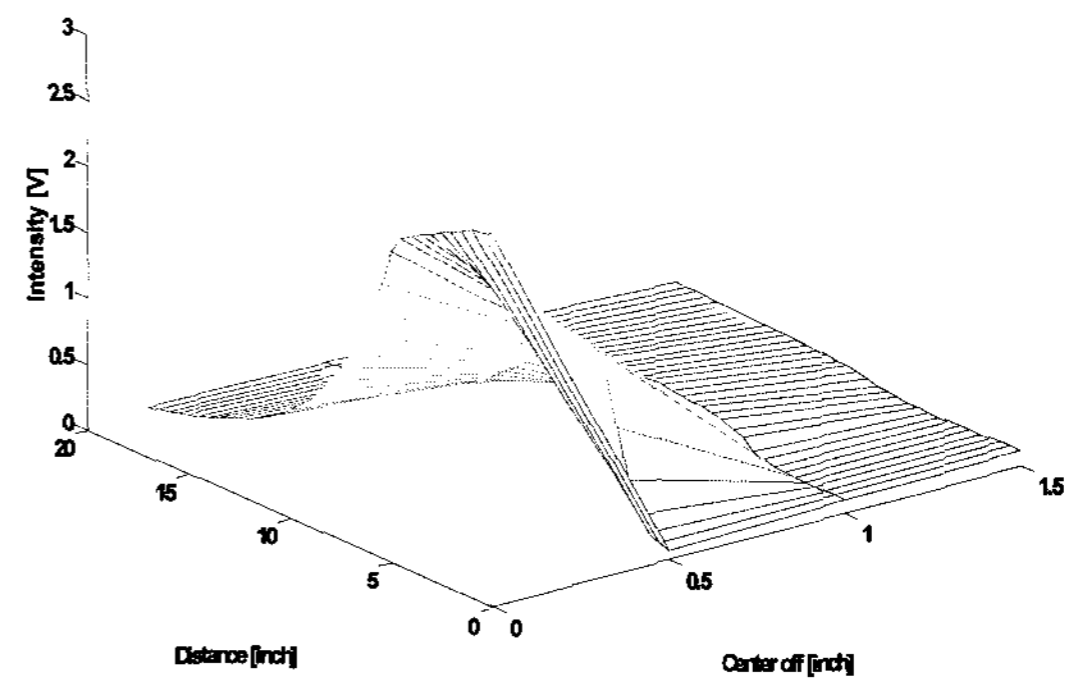
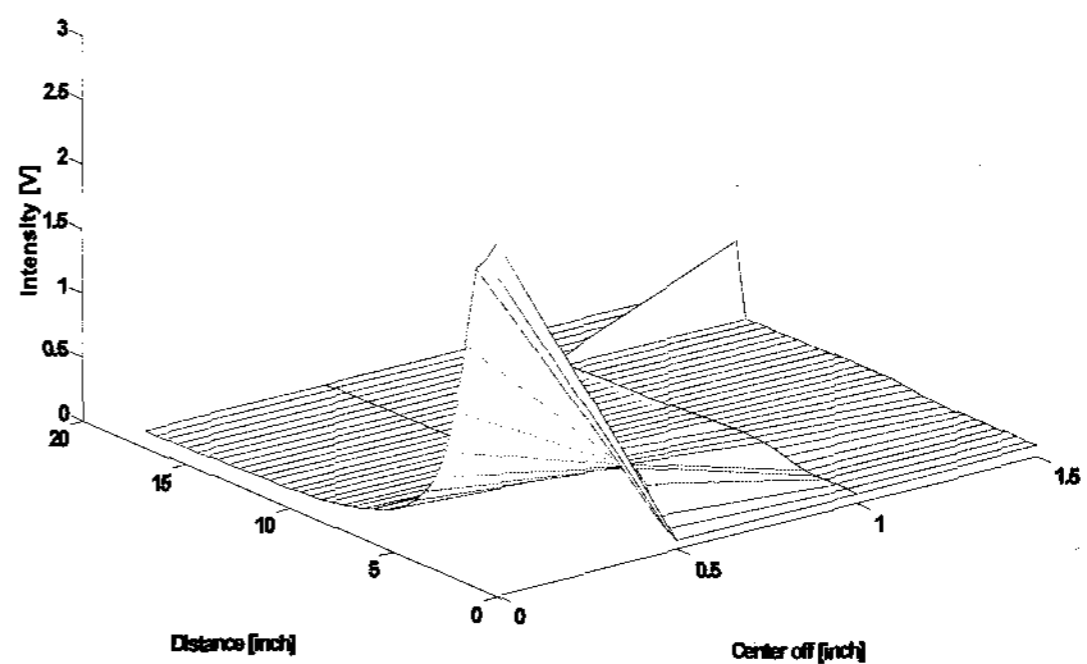


그림 11 Power LED와 두 종류 lens를 사용한 거리에 따른 민감도변화 (Original data with 5th order equation)  
Fig. 11 Distance VS Intensity Using Power LED and two type lens (Original data with 5th order equation)



(a)



(b)

그림 12 Power LED에 두 종류의 렌즈를 사용한 Beam waist 3-D

Fig. 12 Beam waist of Power LED and two types lens 3-D  
(a) 15° lens  
(b) 45° lens

## 4. 결 론

본 연구에서는 광학적 방법을 이용한 보폭측정에 대한 실험을 실시하였다. 이 실험은 그동안 실시되었던 방법과는 달리 Beam waist의 특성을 파악하고 거리에 따른 민감도 변화를 Gaussian beam profile로 재해석 한 실험이다. 앞서 기술한 기존의 보폭측정 방법의 단점을 보완하고 광학적 방법을 이용하여 보다 제약을 덜 받는 방법으로 보폭을 측정하는 것을 시도해 보았다. 또한 이 실험방법은 우선 공간적·시간적으로 제약을 받지 않는다. 본문을 보면 적외선 소자를 이용한 실험방법과 Power LED를 이용한 두 실험방법에서 의미 있는 사실을 발견할 수 있었다.

첫 번째로 거리에 따른 Intensity변화와 Beam waist에 따른 Intensity 변화로 보폭을 측정할 수 있다는 것이다. 적외선 소자의 경우는 Beam waist가 작기 때문에 임상적으로 발목에 착용한 상태에서는 직선상에서 실시한 실험결과가 나오지 않았다. 그래서 그것을 보완하기 위해 좀 더 강한 Intensity를 갖는 Power LED를 사용하였는데, 이 실험결과는 적외선 소자를 사용했을 경우보다 좀 더 넓은 거리를 측정할 수 있었고 좀 더 넓은 범위를 측정할 수 있었다.

두 번째로 lens마다 각각의 독특한 성질들을 볼 수 있었다. 15° lens의 경우 상대적으로 보폭이 넓은 정상인과 움직임이 큰 운동선수의 보폭측정에 용이하다는 사실과 45° lens를 사용할 경우 정상인에 비해 보폭이 작거나 보행 시 발을 끄는 형태의 보행패턴을 나타내는 비 정상인의 보폭측정에 용이하다는 것을 볼 수 있다.

차후 연구로써 더 넓은 범위를 측정하도록 다양한 lens를 이용하고, 신호의 안정성을 더 높이기 위하여 잡음 제거 등의 회로를 추가하여 실제로 보폭 측정에 사용되도록 연구 할 것이며 보폭 측정과 동시에 가속도계를 이용하여 보폭과 보행패턴에 관한 상관성을 분석하고 이를 임상에서 정상인과 비정상인의 보폭, 운동선수들의 보폭에 대한 운동성 평가 등에 사용될 수 있을 것이다. 예를 들면 골프선수 같은 경우 퍼팅이나 스윙 시 정상 컨디션과 슬럼프시 보폭 또는 발과 발사이의 거리가 변하는 상태로 인하여 평소와 다른 비거리 혹은 퍼팅의 정확성이 떨어지는 것을 분석한다거나, 야구종목에서 투수의 피칭 시 벌어지는 발과 발 사이, 타자의 스윙 시 발 사이의 간격 등을 분석할 수 있다.

실험결과를 좀 더 보정하여 정상인·비정상인의 보행을 분석하고 의료용으로 운동성을 평가하고 재활치료의 회복상태에 대한 상세한 정보와 장애정도를 판단하는 기준, 그리고 운동선수들의 움직임 분석 및 훈련의 성과를 측정하는 척도로 사용할 수 있는 시스템으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

"이 논문은 2008년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임"

## 참 고 문 헌

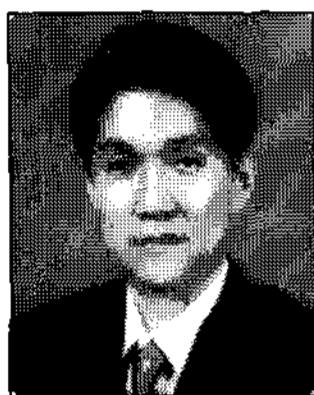
- [1] TP. Anderson, "Rehabilitation of patient with complete stroke," Krusen's handbook of physical medicine and rehabilitation. Philadelphia: WB Saunder's Company. 656-678, 1990.
- [2] S. Morita, H. Yamamoto and K. Furuka, "Gait analysis of Hemiplegic patients by measurement of ground reaction force". Scand J Rehabil Med. 27 (1): 37-42, 1995.
- [3] M.J. Mathie, AC. Coster, NH. Lovell, BG. Celler, SR. Lord, and A. Tiedemann, "A pilot study of long-term monitoring of human movements in the home using accelerometry". J Telemed Telecare. 10 (3): 144-151, 2004.
- [4] J. Philips, Hyeonjoon, S. Rizvi, and P. Rauss. "The feret evaluation methodology for face recognition algorithms," PAMI, 22(10), 2000.
- [5] C. BenAbdelkader, R. Cutler, L. Davis "Stride and Cadence as a Biometric in Automatic Person Identification and Verification," In IEEE, FGR. 02, 2002
- [6] V.M. Zatsiorsky, S.L. Werner, and M.A. Kaimin. "Basic Kinematics of walking," Journal of Sports Medicine and physical Fitness, 34(3), 1994.
- [7] Y. Song, X. Feng, and P. Perona. "Towards detection of human motion," In CVPR, 2000.
- [8] R. Cutler and L.D. Robust, "Real-time periodic motion detection, analysis and applications," PAMI, 13(2), 2000.
- [9] H.J. Luinge and P.H. Veltink, "Inclination Measurement of Human Movement Using a 3-D Accelerometer With Autocalibration," In IEEE, Neural systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 12, No. 1, March (2004).
- [10] 이강휘, 이정환, 김경섭, 김동준, "생체신호 무선 송수신을 위한 소형, 저전력 통신 시스템 개발," 정보 및 제어 심포지움, 2005.
- [11] E.A. Saleh and M.C. Teich, "Beam Optics," Fundamentals of Photonics, New York: John Wiley & Sons, Chapter 3, pp.80-107, 1991.
- [12] L. Mandel and E. Wolf, "Optical Beams," Optical coherence and Quantum Optics. Cambridge: Cambridge University Press, Chapter 5, pp.267, 1995.
- [13] A. Siegman, "Lasers," University Science Books. Chapter 16, 1986
- [14] R.D. Guenther, "Diffraction and Gaussian Beams," In Modern Optics, New York: John Wiley & Sons, pp. 304-309, 1990.
- [15] H. Gross, "Light Sources," Handbook of optical Systems, Wiley-VCH, Chapter 7, pp.304-309, 2005.

저 자 소 개



**정 구 인 (鄭 求 仁)**

2008년 건국대학교 의학공학부 졸업.  
2008년~현재 동대학원 석사과정 재학중.  
관심 분야: 의광학



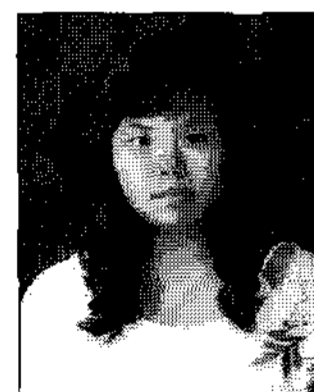
**전 재 훈 (田 載 燾)**

1986년 고려대학교 화학공학과 졸업.  
1993, MS, Chemical Engineering, Texas  
A&M University, College Station, USA,  
2001, Ph.D Biomedical Engineering,  
Texas A&M University, College  
Station, USA, 2001~2004, Research  
Associate, Biomedical Engineering,  
VCU-MCV Campus, Virginia, USA,  
2004년~현재 건국대학교 의학공학부 조  
교수. 관심 분야: 광학센서, 광학적 치료,  
생체역학



**이 강 휘 (李 康 輝)**

2006년 건국대학교 의학공학부 졸업.  
2006년~현재 동대학원 석사과정 재학중.  
관심 분야: 의용계측



**송 민 선 (宋 旼 宣)**

2005년~현재 건국대학교 학사과정 재학  
중. 관심분야: 의광학