



## 악력 훈련 및 평가를 위한 측정 시스템 개발에 관한 연구

### Development of Grip Strength Training and Evaluation System of Hand Functions

강한수 · 정성택\*(한국산업기술대학교)

Kang, Han-Su · Chung, Sung-Taek\* (Korea Polytechnic University)

---

#### 국문요약

본 연구의 목적은 손의 부상 정도나 장애에 대한 치료의 진행 과정에 대하여 정량적인 분석을 하기 위한 것이다. 제안한 평가 항목들은 최고 악력, 악력이 가해지는 시간, 평균 악력, 악력 측정 시작부터 최고 악력까지 도달하는 순간 가속 악력, 일정한 악력 유지 시간을 측정하기 위한 동적 지구력 시간, 주어진 시간 동안 일정 악력을 유지하는 정적 지구력에 대한 변화율 등이다. 구현된 데이터베이스 시스템은 트레이닝, 기능 평가, 개인 정보 등을 기록 할 수 있도록 하였다. 또한, 악력 시스템은 60kg 범위에서 측정이 가능하도록 Load-cell을 이용한 악력 센서를 개발하였다. 제안된 시스템은 의사들이 환자의 재활 프로그램을 진행하는 데 있어 환자의 상태 이해와 해석에 편리와 효율을 제공할 것이다.

#### ABSTRACT

H. S. KANG, and S. T. CHUNG, Development of Grip Strength Training and Evaluation System of Hand Functions. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 19, No. 3, pp. 611-617, 2009. The primary purpose of this study was to analysis quantitatively the degree of injury and/or the progress of treatment for physical impairment. This study provided a more detailed study that evaluates all test parameters including maximum grip strength, duration of operation, average grip strength, acceleration work, dynamic endurance time and percent change in static endurance. Also, a complete database management system is developed and used to store related training, evaluation, and personal information. In addition, the system is developed a grip sensor using load cell transducer ( $\leq 60\text{kg}$ ). The system will be efficient to operate and convenient to use, furthermore, it can be helped for understanding and analysis the progress of a patient during a doctor's rehabilitation program.

KEYWORDS : HAND FUNCTIONS, GRIP STRENGTH, REHABILITATION

---

이 연구는 중소기업청 산학협력실 지원에 의한 논문임.

\*Corresponding Author : 정성택

경기도 시흥시 정왕동 2121 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과

Tel : 031-8041-0527 / Fax : 031-8041-1811

E-mail : unitaek@kpu.ac.kr

## I. 서론

손은 신체 부위 중에서도 가장 움직임이 자유로워 많은 기능을 수행하는 중요한 부분 중의 하나로서, 손의 부상은 다른 부위의 경우보다도 생활에 더욱 불편함을 가져다준다. 이와 같은 부상은 집질리거나(좌섬) 타박상 같은 가벼운 증상일 수 있으며 손가락 골절 또는 절단, 신경 절단 등과 같은 심각한 수준의 부상일 수 있다. 손의 부상으로부터 정상적인 기능을 회복하기 위한 물리치료는 치료에 앞서 환자의 상태, 나이, 과거의 손상여부, 기형, 기능 장애, 질병 등으로 인한 잠재적인 위험을 고려해야 하므로 환자를 평가하는 일은 다음 치료 단계의 적절한 치료계획과 목표를 설정하는 데 매우 중요하다.

또한, 인체는 노화함에 따라 근육량과 근력이 점점 감소하고 탄력을 잃게 된다고 알려져 있다. 여러 가지 근력 중에서 손의 근력을 약력이라 하며, Mathiowetz, Kashmand와 Volland(1985)는 약력이란 손의 기능을 측정하거나 환자의 작업능력을 평가하기 위해 필요하다고 했다. Gallery와 Forster(1985)는 손의 손상이나 질병이 발생되면 근력의 수준은 떨어지고 질병이나 손상이 회복될 때에는 각 개인의 근력의 수준을 되찾아야 하며, 특히 신경계 질환이나 근골격계 질환 및 기타 원인에 의해 근육의 힘이 약화 되었을 때 근력을 측정하는 것은 치료에 앞서 시행하는 중요한 환자 평가의 과정이라고 했다. 또한, 약력은 류머티즘성 관절염(Rheumatoid arthritis), 만성피로증후군(Chronic fatigue syndrome), 발달장애(Developmental disabilities), 근육성이영양증(Muscular dystrophy), 파킨슨병(Parkinson's disease) 등의 증상에 대한 진단 및 신체 일부 물리적 기능의 건강 진단에 사용되기도 한다(Andria, Attivissimo, Giaquinto & Sasanelli, 2006; Innes, 1999). Bassey와 Harries(1993)의 논문에서는 65세 이상 남녀를 대상으로 연령별 약력의 변화를 측정된 결과 노화로 인해 매년 2%씩 감소한다고 하였다. 이와 같이 약력과 관련한 임상 연구가 다양한 분야에서 이루어지고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 약력계는 아날로그 또는 디지털로 구분되며, 손의 기능과 관련된 임상 연구, 부상 정도, 장애 정도 등과

같은 정량적 데이터 획득을 통한 분석에는 디지털 약력계가 필요하다. 일반적으로 가장 많이 사용되는 것은 JAMAR의 디지털 약력계이지만, 이 시스템의 기능은 실시간 약력 변화량이나 최고 약력 값을 나타내는 정도로 알려져 있다. 이와 같이 단순한 측정값들을 사용하여 복잡한 손의 기능에 대한 분석을 한다는 것은 어느 정도 한계가 있을 수밖에 없다.

따라서 본 연구에서는 손의 기능과 관련한 임상 연구, 부상 정도, 장애 정도 등에 대하여 여러 가지 정량적인 평가 및 분석을 할 수 있는 소프트웨어를 구현하였다. 또한, 이를 위하여 약력 시스템은 Load-cell을 사용한 디지털 약력 센서를 제작하여 실시간으로 약력 값을 측정 할 수 있도록 하였다. 본 논문에서 제안하고 있는 여러 가지 정량적인 평가 항목들은 임상연구 뿐만 아니라, 효율적인 재활 계획이나 치료과정을 수행하고 개선 정도에 따라 새로운 치료나 재활 계획을 세우는 데 많은 도움이 될 것이다.

## II. 연구방법

### 1. 시스템 구성 및 약력 센서 특성

본 연구에서 제안하고 있는 약력 측정 시스템에 대한 전체적인 시스템 구성도는 <그림 1>에서 보여주고 있다. 시스템의 기준전압은 3V로 입력하였으며, Load-cell로 구성된 디지털 약력 센서와 MCU내의 ADC기준 전압으로 각각 작용하도록 하였다. 여기서, 설계된 디지털 약력 센서의 구조와 실제로 제작된 사진은 <그림 2>에서 보여주고 있다. 제작된 디지털 약력 센서는 일반 성인의 약력을 충분히 측정할 수 있는 범위로  $0\sim 60\text{kg}\pm 0.1\text{kg}$ 이 되도록 설계하였다. 외부에서 가해진 약력은 <그림 2>에서 보여주는 점선 안의 스트레인 게이지(strain gage)를 통하여 저항 변화로 나타난다. 일반적으로 스트레인 게이지는 휘스톤 브릿지(wheatstone bridge)회로로 구성되어 있으며, 입력 전압에 대하여 저항 값의 변화에 따라 출력 전압의 변화가 일어난다.

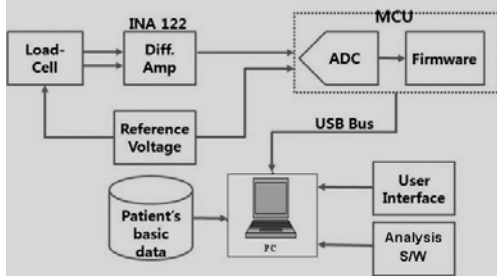


그림 1. 악력측정 시스템에 대한 전체 구성도

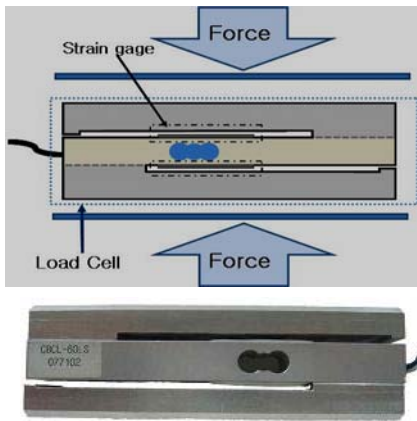


그림 2. 설계된 악력 센서의 구조와 실제로 제작된 악력 센서

표1. 분동자를 이용한 로드셀 측정 값

분동자 무게(kg)	측정값(N)	N/kg	보정값(N)
1	9.6	9.6	9.2
2	18.6	9.3	18.4
5	44	8.8	46
10	89	8.9	92
20	184	9.2	184
40	376	9.4	368

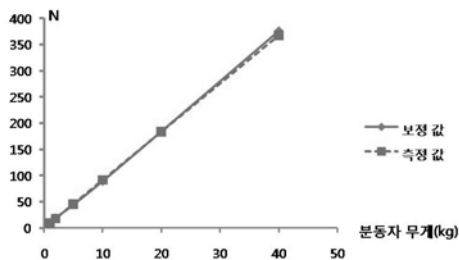


그림 3. 악력 센서를 교정과정을 나타내는 그래프

이와 같은 과정을 거쳐 얻어지는 Load-cell의 출력 신호는 매우 작으므로 <그림 1>에서의 INA 122 차동 증폭기를 통하여 증폭 하였다. 증폭된 전압을 MCU내의 ADC(10bit, 5V 기준 전압일 때 1024 레벨)에서 100ms간격으로 샘플링 하였다.

본 논문에서는 ADC입력기준 전압을 3V로 적용하였기 때문에, ADC는 614레벨이 된다. 여기서, ADC가 약 5mV/레벨이 되기 위하여 차동 증폭기의 gain 조절 저항을 이용하여 gain을 450로 하였다. 예를 들어 1kg의 악력이 가해지면 ADC레벨은 10정도이며, 오차 범위인 0.1kg까지 가능하게 하였다. 이와 같은 방법으로 얻어지는 실시간 악력은 ADC레벨 값들로 변환된 후 MCU의 데이터 전송 프로그램에 의해서 PC로 전달된다. 또한, 사용자에게 편리성과 다양한 기능의 데이터 획득을 위한 User Interface, 사용자 정보 관리를 위한 데이터베이스 및 획득한 신호를 분석할 수 있는 소프트웨어 부분으로 구성되어 있다.

제작된 Load-cell에 따라 발생하는 오차율에 대한 데이터 신뢰성을 해결하기 위하여 <표 1>에서처럼 각각 1, 2, 5, 10, 20, 40kg 무게의 분동자를 이용하여 Load-cell에 가해지는 압력을 측정하였다. 여기서 측정된 값들을 이용하여 단위 kg에 가해지는 평균 압력을 계산하였으며, 본 연구에서 얻어진 평균 값 9.2 N/kg을 단위 압력으로 설정하였다. 이 평균 압력을 기준으로 Load-cell에 대한 전체 압력을 교정(calibration)하는 데 적용하였다. <그림 3>은 본 연구에서 사용된 Load-cell의 교정 결과에 대한 예를 보여주는 그래프이다. 교정하기 전의 가는 점선(빨간색선)과 교정 후의 굵은 실선(파란색선)으로 나타내었다. <그림 3>에서 보여주듯이 제작 과정에서 발생하는 오차율은 전체적으로 매우 미세한 것으로 알 수 있다.

## 2. 악력 평가 기능

본 연구에서는 손의 기능에 대한 상태를 정확히 평가하기 위하여 여러 가지 기능에 대한 데이터를 획득하여 분석할 수 있게 하였다. 획득된 데이터들은 재활 치료 또는 계획 등에 적용할 수 있도록 환자 정보를 기록하고, 환자의 기능별 검사 결과를 저장하여 과거의 테

스트 결과와 비교할 있도록 데이터베이스화 하였다.

일반적으로 악력을 측정하여 손의 기능을 평가하는 방법으로는 실시간으로 가해진 악력 값들 중에서의 최고 악력(maximum grip strength), 악력이 가해진 전체 시간을 나타내는 동작 시간(duration of operation), 악력이 가해진 시간 동안의 평균 악력(average grip strength), 악력이 순간적으로 가해지는 폭발력을 측정하기 위하여 악력 측정이 이루어지는 시작 시간부터 최고 악력까지 도달하는 데 걸리는 시간과 이때 얻어진 악력값들과의 관계를 나타내는 순간 가속 악력(acceleration work) 등이 있다(Yang, Huang & Yang, 2006). 악력을 측정하는 것과 달리 일정한 악력을 얼마 동안 유지 할 수 있는 지를 나타내는 동적 지구력(dynamic endurance)시간과 임의의 주어진 시간 동안(5초~30초까지 5초 간격으로 시험 방법에 따라 임의적으로 설정 가능함) 일정한 악력을 유지하는 정적 지구력(static endurance)에 대한 변화량을 평가할 수 있도록 구현하였다(Crosby & Wehbe, 1994; Nicolay & Walker, 2005). 이와 같은 여러 가지 기능들은 의사가 환자에 대한 정확한 현재 상태를 진단함으로써 치료나 재활 계획을 세울 수 있도록 도움을 줄 수 있을 것이다. 위에서 제시한 각각의 기능에 대한 정의와 수식을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 가해진 악력 값들 중에서의 최고 악력(maximum grip strength) :  $F_{max}$

$$F_{max} = \max(F_0, F_1, F_2, \dots, F_{N-2}, F_{N-1}) \quad (1)$$

$N$ 은 전체 샘플링 수이며,  $F_0, F_1, \dots, F_{N-2}, F_{N-1}$ 은 각각의 샘플링 값에서의 악력을 나타낸다.

- 2) 악력이 가해진 전체 동작 시간(duration of operation) :  $T_d$

$$T_d = (t_j - t_i) \quad (2)$$

단,  $(F_j = F_i = 0), 0 \leq i \leq j \leq N-1$

$t_i$ 와  $t_j$ 는 악력값이 각각 '0' 일 때 시작 시간과 종

료 시간을 나타내며, 이때의 악력을 각각  $F_i$ 와  $F_j$ 로 나타내었다.

- 3) 악력이 가해진 시간 동안의 평균 악력(average grip strength) :  $F_{avg}$

$$F_{avg} = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=0}^{N-1} F_i \right) \quad (3)$$

- 4) 악력 측정이 이루어지는 시작 시간( $T_i$ )부터 최고 악력까지 도달하는 시간( $T_{max}$ )과 이때 얻어진 악력 값들( $F_i, F_{max}$ )과의 관계를 나타내는 순간 가속 악력 (acceleration work) :  $F_{acc}$

$$F_{acc} = \frac{(F_{max} - F_i)}{(T_{max} - T_i)}, \text{ 단, } i = 0 \quad (4)$$

- 5) 최고 악력 값의 90% 이상을 유지하는 동적 지구력(dynamic endurance) 시간 :  $t_{max}$

$$t_{max} = t_q - t_p \quad (5)$$

단,  $t_p \leq t_{max} \leq t_q, 0.9F_{max} \leq F_p, F_q \leq F_{max}$   
 $F_p, F_q$ 는 각각  $t_p$ 와  $t_q$ 일 때의 악력이다.

- 6) 임의의 주어진 시간동안 일정한 악력을 유지하는 정적 지구력(static endurance)에 대한 변화율 :

$S_{endurance}$

$$S_{endurance}(\%) = \frac{(F_{mean-last\ second})}{(F_{mean-first\ second})} \times 100(\%) \quad (6)$$

여기서,  $F_{mean-last\ second}$ 은 주어진 시간에서의 마지막 1초 동안의 평균 악력과  $F_{mean-first\ second}$ 은 처음 1초 동안의 평균 악력을 나타낸다.

또한, 위에서 언급된 수식을 이용하여 환자의 현재 상태나 재활 훈련 동안에 상태 변화를 환자나 의사가

쉽게 이해 할 수 있도록 시각적으로 나타내기 위하여 결과 화면에 초록색(좋음), 노란색(보통), 빨강색(개선 필요)등의 3단계로 시각적 표현을 하였다.

초록색 단계는 재활이나 치료과정을 진행하는 동안의 이전 결과와 현재 측정 결과를 비교하여 전체적으로 개선되었음을 나타내며, 노란색 단계는 현재의 상태와 이전 상태를 비교하여 일부 개선되었다는 것을 나타내었다. 빨강 단계는 이전 결과에 비교하여 전체적으로 개선되지 않고 있음을 보여줌으로써 재활 계획이나 치료에 대한 변경을 유도 할 수 있도록 하였다. 이와 같이 여러 가지 손의 기능 상태를 색상으로 표현함으로써 치료나 재활과정에서 환자와 의사간의 대화에서 발생하는 의사소통에 대한 신뢰가 높아질 것이다.

이와 같은 컬러를 이용한 시각적인 표현은 각각의 수식에 대하여 만족할 때 나타내도록 하였다. 이에 대한 수식은 아래와 같이 정리하였다.

1) 초록색 단계는 다음 수식을 만족할 때이다.

$$(F_{max}^{nj} \geq F_{max}^{mi}), (F_{avg}^{nj} \geq F_{avg}^{mi}), (F_{inst}^{nj} \geq F_{inst}^{mi}),$$

$$(T_d^{nj} \geq T_d^{mi}), (SD^{nj} \leq SD^{mi})$$

여기서, SD는 악력에 대한 표준 편차를 나타내며,  $m, n, i, j \geq 0$ 이며,  $n > m, i > j$ 이다.

2) 빨강색 단계

$$(F_{max}^{nj} < F_{max}^{mi}), (F_{avg}^{nj} < F_{avg}^{mi}), (F_{inst}^{nj} < F_{inst}^{mi}),$$

$$(T_d^{nj} < T_d^{mi}), (SD^{nj} > SD^{mi})$$

3) 노란색 단계

초록색 및 빨강색 단계의 어느 쪽에도 속하지 않을 때이다.

### III. 연구 결과

본 연구에서 구현한 소프트웨어는 Visual C++ .Net 2003으로 설계하였다. 소프트웨어 내용으로는 개인 정보를 등록할 수 있는 DB 화면, 실시간 악력 측정 화면,

기능별 결과 화면, 이전 데이터와 비교할 수 있는 결과 분석 화면, 그리고 시스템 설정 화면에서는 악력 센서에 대하여 교정(calibration) 및 정적 지구력(static endurance)에 대한 변화율 테스트를 위한 시간 설정 등을 할 수 있도록 하였다. 각각의 기능별 사용자 인터페이스 화면을 아래와 같이 설명하였다.

#### 1. 개인 정보 등록 DB 화면

일반적인 개인 정보를 저장할 수 있는 데이터베이스 화면은 <그림 4>에서 보여주듯이 환자 이름, 나이, 성별, 생년월일, 직업과 환자의 과거 병력이나 환자에 대한 특이 사항을 저장할 수 있는 note등으로 구성하였다. 또한, 이에 대한 환자의 파일 내용을 필요에 따라 삭제, 변경, 찾기 등을 할 수 있도록 하였다.

Registration			
Name	이미나	Age	24
Sex	<input type="radio"/> Male <input checked="" type="radio"/> Female	BirthDay	1985-02-14
Tel.	12345	Mobile	12345
Occup.	학생	Doctor	이성호
Note	xxx		
		<input type="button" value="Registration"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

그림 4. 개인정보 등록을 위한 데이터베이스 화면

#### 2. 실시간 악력 측정 화면

<그림 5>에서는 일정한 악력을 유지하는 시간을 측정하는 동적 지구력(dynamic endurance) 시간 인터페이스를 보여주고 있다. 예를 들어 왼손 측정을 선택하고, 일정한 악력을 유지하는 시간과 이에 대한 실시간 악력 변화량을 그래프로 나타내고 있다. 화면에서 보여주는 정보는 각각 최고 악력(maximum strength), 평균 악력(average strength), 현재 악력(current strength)등을 나타내었다. 여기서 일정한 악력이 유지하는 시간 동안의 평균 악력을 계산하여 초록색 가는 실선으로 나타내었다.

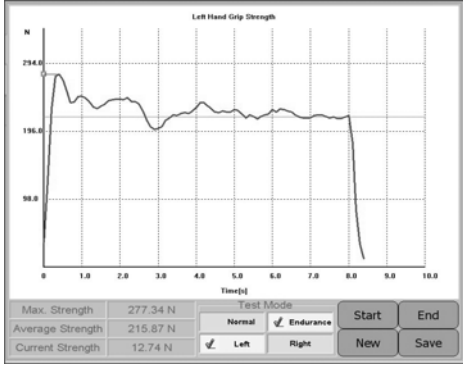


그림 5. 실시간 악력 측정 화면

### 3. 기능별 데이터 결과 화면

악력값들에 대한 각각의 데이터 결과 값에 대한 그래프는 <그림 6>에서 보여주고 있다. 최고 악력, 평균 악력, 동적 지구력(dynamic endurance) 시간, 순간 가속 악력(acceleration work), 정적 지구력 변화율에 대한 백분율(endurance percent), 동작 시간(operation duration) 등을 나타내었다.

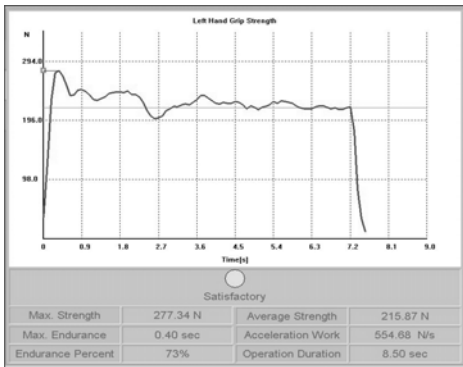


그림 6. 기능별 측정된 데이터 화면

또한, 손의 기능 상태 변화를 분석하기 위하여 이전 상태와 비교한 결과를 시각적으로 보여주었다. 각각 초록색(좋음), 노란색(보통), 빨강색(개선 필요)등으로 나타내었다. <그림 6>에서의 결과에서 보여주는 노란색은 현재 상태와 이전 상태를 비교한 결과 값들에 대하여 큰 변화가 없음을 나타내고 있다. 이러한 결과는 지금까지 진행하였던 치료나 재활 과정에 대하여 보완해야 한다는 것을 의미한다.

### 4. 이전 데이터 분석 화면

일반적으로 환자가 치료나 재활 기간 동안 측정된 데이터를 각각의 기능별로 상태 변화를 분석함으로써 치료나 재활 계획을 세우는 데 큰 도움이 될 것이다. 이와 관련하여 각각의 기능에 대한 데이터 비교 분석이 가능하도록 데이터베이스를 구현하였으며, 이에 대한 결과는 <그림 7>에서 보여주고 있다.

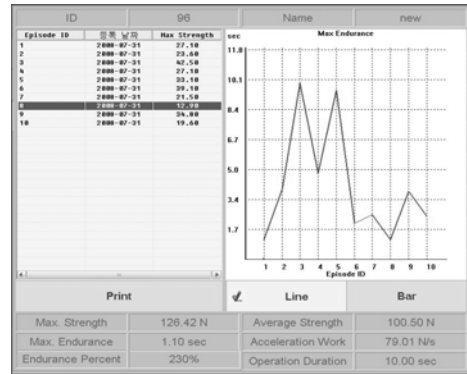


그림 7. 이전 데이터에 대한 변화를 보여주는 화면

<그림 7>에서는 지구력(endurance)에 대하여 10회 동안의 측정 결과를 바탕으로 지구력의 변화 시간을 보여주고 있으며, 이외에도 최고 악력, 평균 악력, 순간 가속 악력, 동작 시간 등에 대한 변화량을 필요에 따라 결과 그래프를 선택하여 나타낼 수 있다.

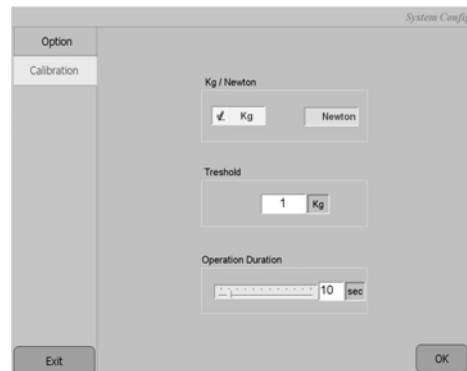


그림 8. 시스템 환경 설정 화면

### 5. 시스템 설정 화면

<그림 8>은 악력 센서에 대한 교정 및 정적 지구력에 대한 변화율 측정을 위한 시간 설정 화면이다. 기능으로는 Option 탭에서는 측정 단위 변경(kg/Newton), 악력 측정 시 일정한 경계 값 이상일 경우 악력 측정이 시작되도록 경계 값 설정, 정적 지구력에 대한 변화율을 측정하기 위한 시간 설정 등이 있다. 이외에 악력 센서의 교정은 Calibration 탭에서 가능하도록 구현하였다.

#### IV. 결 론

본 연구의 결과는 정량적 악력값을 측정하기 위하여 디지털 악력계를 실제 구현하였으며, 다양한 악력 기능을 평가 할 수 있는 항목들에 대하여 사용자 인터페이스 프로그램을 개발하였다. 악력 기능에 대한 다양한 분석을 위하여 악력값들을 획득하고, 이에 대하여 수치적으로 정량화함으로써 여러 분야의 임상 연구나 손의 부상 정도를 진단하거나 재활에 따른 상태 변화를 환자와 의사가 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 또한, 대부분 결과들을 시각적으로 표현함으로써 환자에게는 재활에 대한 흥미 유발을 주며, 의사에게는 다양한 결과를 토대로 새로운 재활 계획을 세우는 데 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다.

제안된 시스템의 특징은 휴대가 가능하며, 개인용 컴퓨터에 쉽게 연결하여 사용할 수 있도록 USB Bus를 적용하였다. 환자가 재활훈련기간 동안 가정에서 측정된 데이터를 병원의 의사에게 네트워크를 통하여 전송하여 진단한다면 재활에 필요한 비용과 시간을 줄 일 수 있을 것이다.

추가적인 연구로는, 개발된 디지털 악력계에 무선 통신 시스템을 추가하여 근력 측정과 관련한 U-healthcare 분야에서 그 적용 범위를 넓히고, 다양한 임상 연구를 통한 비교 연구가 진행 되어야 하겠다.

handgrip signals for Parkinsonian patients. *IEEE Transaction On Instrumentation and Measurement*, 55(5), 1467-1473.

Bassey, E. J., & Harries, U. J.(1993). Normal values for handgrip strength in 920 men and women aged over 65 years and longitudinal changes over 4 years in 620 survivors. *Clinical Science*, 84, 331-337.

Crosby, C. A., & Wehbe, B. M.(1994). Hand strength: normative values. *Journal of Hand Surgery*, 19, 665-670.

Gallery, P. M. & Forster, A. L.(1985). *Human Movement*. Churchill Livingstone Co., 98-99.

Innes, E.(1999). Handgrip strength testing: A review of the literature. *Australian Occupational Therapy Journal*, 46, 120-140.

Mathiowetz, V., Kashman, N., & Volland, G.(1985). Grip and pinch strength: Normative data for adults. *Archive Physical Medical Rehabilitation*, 66, 69-72.

Nicolay, C. W., & Walker, A. L.(2005). Grip strength and endurance: Influence of anthropometric variation, hand dominance, and gender. *Industrial Ergonomics*, 35, 605-618.

Yang, H. Y., Huang, H. C., & Yang, C. H.(2006). A generic grip strength training and evaluation System. *Journal of Medical and Biomedical Engineering*, 26, 75-80.

투 고 일 : 03월 30일  
 심 사 일 : 04월 23일  
 심사완료일 : 09월 03일

#### 참고문헌

Andria, G., Attivissimo, G. A., Giaquinto, N., & Sasanelli, N.(2006). Functional evaluation of