

수공구 손잡이의 인간공학적 요소 평가

- Ergonomic Factors Assessment on Hand Tool Handle -

양 성 환 *

Yang Sung Hwan

조 문 선 *

Cho Mun Son

강 영 식 **

Kang Young Sig

Abstract

The goal of this study is to investigate the ergonomic factors in designing or selecting the hand tool handle. Electromyogram (EMG) were measured for various wrist postures and handle sizes under two loading conditions. Anthropometric data were measured and the correlation with EMG measurement data were analyzed.

Investigations of this study show that wrist posture should be neutral for minimum muscle tension and optimum handle size can be found by measuring the EMG measurement data. It show that hand width and EMG measurement data is greatly correlated also.

This study can be a guide of designing or selecting a hand tool, but further study with large sample sizes and various groups is needed for making general conclusion.

Keywords : EMG, Handtool, Posture, Grip Length

* 국립한국재활복지대학 의료보장구과 교수

** 세명대학교 보건안전공학과 교수

2006년 1월접수; 2006년 2월 수정본 접수; 2006년 2월 게재 확정

1. 서론

현대의 작업형태는 수동작업 형태에서 기계화, 자동화 작업형태로 바뀌어 나가는 추세에 있지만, 아직까지 산업현장에서는 수공구가 많이 사용되고 있는 실정이다. 수공구를 사용하는 작업을 장기간 반복적으로 수행할 경우 손, 팔, 어깨, 목으로 구성되는 상지의 근육과 섬유조직에 손상을 일으켜 점차적으로 상지의 기능을 저하시키거나 통증을 동반하는 근골격계 질환을 유발할 수 있다. 이러한 근골격계 질환은 적절하지 못한 작업환경으로 인한 부적절한 작업자세(신체의 굴곡, 사지의 굴곡), 부적절한 공구의 사용으로 인한 과도한 하중(무게 또는 발휘하는 힘)과 작업시간(지속시간, 휴식간격, 반복횟수, 빠르기 등)등의 요인이 복합적으로 작용하여 발생한다[1].

적절한 수공구 혹은 작업도구는 작업시 인체에 가해지는 하중을 최소화하고, 자세를 적절히 유지할 수 있도록 설계된 것을 의미한다. 이러한 수공구 혹은 작업도구는 작업형태 혹은 작업의 조건에 따라 다양한 형태와 규격의 제품이 나와 있어, 이를 모두 수용할 수 있는 일반화된 설계 지침을 추출해 내기는 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 수공구 혹은 작업도구 중 공통적인 요소 중 하나인 손잡이를 대상으로 적절한 손잡이의 크기 및 형태에 관한 문제를 다루어 보고자 한다.

적절한 손잡이의 크기 및 형태는 사용자의 쥐는 힘(grip strength)을 최대로 하거나 [3-4], 혹은 동일한 힘을 발휘하는데 있어서 필요한 사용자의 근력을 최소로 하는 것을 말한다. 본 연구에서는 근전도(EMG) 측정을 통하여 수공구 손잡이와 관련된 인간공학적 요소를 평가하고, 인체의 각종 측정 데이터와의 관계를 고찰해 봄으로써 수공구의 손잡이를 선택 혹은 설계하는데 고려해야할 요인들을 검토해보았다.

이와 관련하여 악력측정 및 인체 측정을 통해 손잡이 크기에 영향을 미치는 여러 요인들을 검토하려는 시도가 이루어진 바가 있으며[3-4], 손목작업시 발생할 수 있는 위험도를 수학적으로 모형화 하여 이를 수치화하려는 연구가 진행되었으나, 모형수립시 실험대상자의 주관적 평가치를 수치화하고, 이를 이용하여 모형을 수립하였기 때문에 해당 모형의 반복성 및 객관성이 보장되지 않는 문제점을 내포하고 있다[5].

근전도 값을 이용한 작업부하와 관련된 기존의 연구로는 손목자세와 드릴의 무게가 작업수행에 미치는 영향을 조사하려는 시도가 있었으며[6], 들기작업과 관련하여 척추근육의 근전도 측정을 통한 연구가 진행된 바 있다[7-8].

2. 실험

2.1 피실험자

본 연구는 지난 6개월간 근골격계 질환의 병력이 없는 남자 대학생 9명을 대상으로 (나이: 24.3 ± 3.43 세, 키: 178 ± 6.8 cm, 몸무게: 79.4 ± 10.1 kg) 실험을 실시하였다. 실험 참여는 피실험자들의 동의를 통해 이루어졌으며, 각각에 대해 인체 측정과 근전도 값을 측정하였다.

2.2 인체 치수 측정

본 연구에서 다루고자 하는 수공구의 경우 작업자의 신체조건에 따라 공구의 안전성, 효율성 등이 달라진다. 따라서, 본 연구에서는 피실험자들의 인체 측정을 통해, 근전도 측정값과의 상관관계를 검토해 보고자 하였다. 이를 위해 수공구를 이용한 작업과 관련되리라고 예상되는 어깨너비, 팔길이, 위팔둘레, 아래팔 둘레, 팔꿈치 높이, 손길이, 손너비, 손목둘레 등의 9가지 항목의 인체 치수를 측정하였다. 측정방법 및 위치는 산업자원부의 기술표준을 따랐다[11].

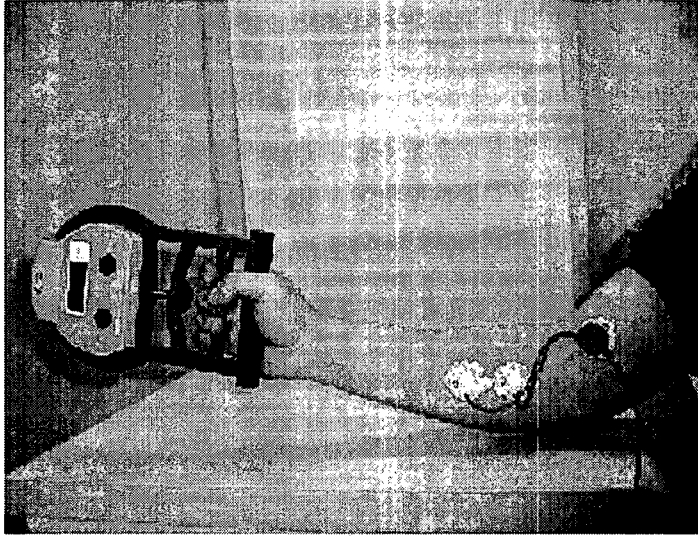
2.3 EMG를 이용한 근육 부하 측정

2.3.1 실험장비

EMG값은 MEGA Electronics사의 ME300기종을 사용하였다. 이 기기는 두 개의 독립적인 측정 채널을 사용하며, 프로그램이 가능하고, 최대 45시간의 기록이 가능한 장비로, 개인용 컴퓨터와의 접속 프로그램을 이용하여 데이터를 수집, 처리하였다. 또한, 손목각도의 변화를 측정하기 위한 장비로는 Isomed사의 경사계를 사용하였으며, 동일한 부하를 주기 위해 Takei사의 Grip Strength Dynamometer를 사용하였다.

2.3.2 실험방법

수공구의 경우 대부분 악력을 사용하게 되고, 이 경우 주로 손가락 및 손목의 굴곡운동이 일어나게 된다. 손목의 굴곡운동은 1차적으로 요측수근굴근(flexor carpi radialis)과 척측수근굴근(flexor carpi ulnaris)를 통해 이루어지고, 이 운동에 보조가 되는 것은 장장근(palmaris longus)와 장무지외전근(abductor pollicis longus)이다[13]. 또, 손가락의 굴곡운동에는 천지굴근(flexor digitorum superficialis), 심지굴근(flexor digitorum profundus)이 주로 관여하고 있다. 실험에서는 <그림 1>과 같이 손목 및 손가락의 근 무리가 있는 피부에 전극을 부착하여 근전도를 측정하였다. 측정할 근전도는 정류된(rectified) 신호를 근수축 지속시간에 대해 적분하여 그 크기를 비교분석하는 IEMG(integrated EMG) 분석방법을 이용하여 분석하였다.



<그림 1> 근전도의 측정

2.3.3 측정

(1) 손목자세에 따른 근전도 측정실험

손목 자세에 따른 근육의 사용정도를 살펴보기 위한 실험으로, 손목을 굴곡 및 신전, 척골편향, 요골편향 시킨 상태에서 10 kgf의 부하를 가할 때의 근전도를 측정하였다. 손목의 굴곡, 신전, 척골편향, 요골편향 자세는 모두 중립자세에 대해 15도의 각도를 기준으로 하였으며, 각도는 경사계(inclinometer)를 이용하여 조절하였다.

정확한 측정을 위하여 초기 상태에서 해당 부하조건까지 부하를 가하는 데 걸리는 시간은 사전연습을 통하여 5초로 설정하였으며, 해당 부하조건하에서 자세를 5초간 유지하도록 하였다. 근전도값은 해당 부하조건이 만족된 후 5초간의 데이터를 이용하여 추출하였다.

(2) 손잡이 크기에 따른 근전도 측정실험

다양한 크기의 수공구 손잡이를 모사하기 위하여, 손잡이의 크기를 임의로 조절할 수 있는 Takei사의 Grip Strength Dynamometer를 사용하였으며, 사용된 손잡이의 크기는 40mm에서 5mm 단위로 크기를 늘려 65mm까지 측정하였다. 한국공업규격[14]에서 제정한 펜치(cutting pliers)와 플라이어(slip joint pliers)등의 손잡이 최대 직경은 물리는 물건이 없을 때를 기준으로 40 ~ 55 mm로 지정되어 있으므로, 작업 중 즉, 물림부 사이에 물건이 있을 때를 기준으로 하여 최대 65mm까지의 손잡이 크기를 가상하여 측정조건을 결정하였다.

또한, 부하의 크기에 따른 영향을 살펴보기 위하여 10 kgf와 20 kgf의 부하조건하에서 실험을 실시하였다. 이는 한국공업규격에서 제시하고 있는 각종 공구의 요구하중과

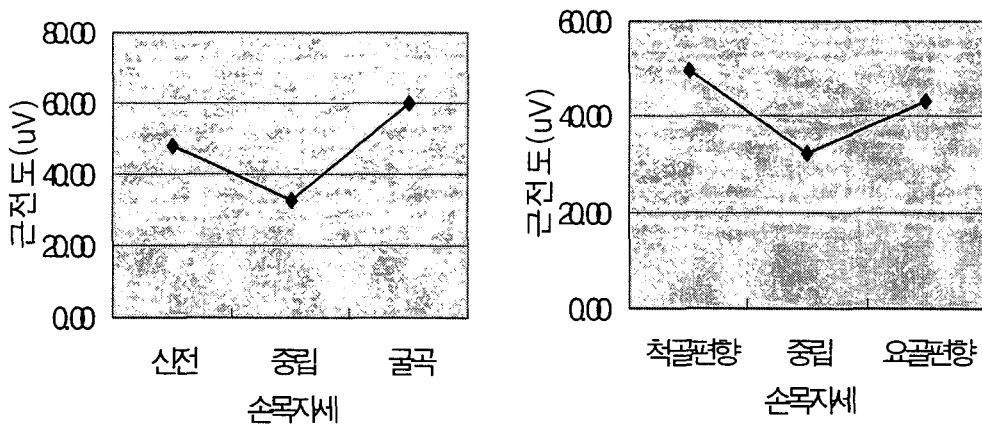
피실험자의 실험조건을 고려하여 결정하였다. 부하의 크기는 실험장비에 표시된 숫자를 이용하여 조절하였으며, 피실험자로 하여금 실험전에 손목 관절의 움직임과 자세 및 부하에 대한 충분한 연습을 하도록 한 후 실험을 실시하였다. 손목자세에 따른 근전도 측정 실험에서와 마찬가지로 정확한 측정을 위하여 초기 상태에서 해당 부하조건까지 부하를 가하는 데 걸리는 시간은 사전연습을 통하여 5초로 설정하였으며, 해당 부하조건하에서 자세를 5초간 유지하도록 하였다. 근전도값은 해당 부하조건이 만족된 후 5초간의 데이터를 이용하여 추출하였다.

3. 결과 분석

3.1 손목 자세에 따른 근전도 측정 결과 분석

손목 자세에 따른 근전도 측정결과를 <그림 2>에 나타냈다. 두 결과를 살펴보면, 중립일 때의 손목자세가 동일한 부하를 내는 데 필요한 근력을 가장 적게 요구하고 있음을 알 수 있다. 즉, 이는 인간공학적으로 적합한 손잡이의 형태는 손목자세가 중립의 형태를 유지한 상태로 작업할 수 있도록 되어 있는 것을 의미한다.

중립상태에서의 측정값의 유의성 검정을 위하여, 중립상태에서의 측정값과 다른 값과의 짝비교 t-검정을 실시하였다. <표 1>에서 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서의 검정결과를 살펴보면, 중립상태의 측정값이 다른 자세에서의 측정값에 대해 통계학적으로 유의함을 알 수 있다.



<그림 2> 손목자세에 따른 근전도 측정결과

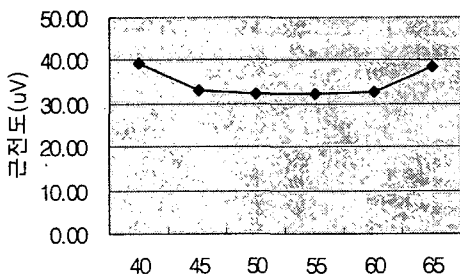
<표 1> 손목 자세에 따른 근전도 측정결과 비교(단위 : μV)

손목자세(평균 \pm 표준편차)		t-값	p
중립 (32.4 \pm 12.18)	신전(48.22 \pm 22.09)	3.364	0.010
	굴곡(59.89 \pm 23.29)	4.282	0.003
	척골편향(49.55 \pm 28.94)	2.577	0.033
	요골편향(43.11 \pm 19.98)	2.815	0.023

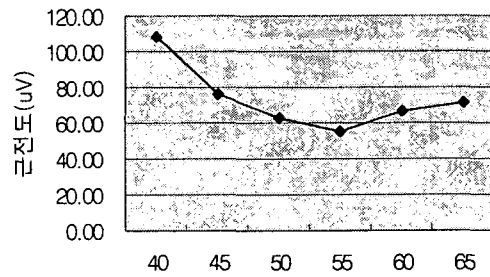
3.2 손잡이 크기에 따른 근전도 측정결과 분석

손잡이 크기의 변경에 따른 효과를 살펴보기 위하여 부하 10 kgf과 20kgf 수준에서 실험을 실시하였으며, 그 결과가 <그림 3>에 나타나 있다. 결과를 살펴보면 평균적으로 10 kgf의 부하를 가할 때보다, 20 kgf의 부하를 가할 때의 근육부하가 더 크게 걸리는 것을 알 수 있으며, 손잡이 크기에 따른 근육부하의 변동은 10 kgf의 부하를 가할 때보다 20 kgf의 부하를 가할 때 더 크게 나타남을 알 수 있다. 또한, 20 kgf 부하 수준에서는 현 모집단을 기준으로 55 cm의 손잡이 크기가 가장 효율적임을 알 수 있다.

이를 통계학적으로 검증하기 위하여 일원배치 분산분석을 실시하였으며, 그 결과를 <표 2>에 수록하였다. 표를 살펴보면 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 10 kgf의 부하를 가할 때에는 손잡이 크기가 근전도 값에 별 다른 영향을 미치지 않음을 알 수 있으며, 20 kgf 수준의 부하에서는 손잡이 크기가 근전도 측정치와 유의한 관계에 있음을 알 수 있다.



(a) 부하 10kgf



(b) 부하 20kgf

<그림 3> 손잡이 크기에 따른 근전도 측정결과

<표 2> 손잡이 크기에 따른 근전도 측정결과 비교

부하 (kgf)	손잡이 길이 (cm)	근전도 (μV)	F 비	p
10	40	39.56±14.31	0.502	0.773
	45	33.22±12.59		
	50	32.44±12.18		
	55	32.44±13.97		
	60	32.56±10.78		
	65	38.11±17.29		
20	40	108.89±57.05	2.584	0.038
	45	75.89±42.08		
	50	62.44±21.36		
	55	55.33±24.05		
	60	66.56±23.51		
	65	71.89±27.32		

3.3 인체 측정치와의 상관관계 분석

인체 측정치는 수공구를 이용한 작업과 관련이 있을 것으로 예상되는 9가지 항목에 대하여 측정하였으며, 피실험자의 인체측정 결과는 <표 3>과 같다. 인체측정 결과와 근전도 측정치간의 상관관계를 살펴보기 위해, 부하 20 kgf, 손잡이 크기 55 cm일 때의 근전도 측정치와 인체 측정치간의 상관관계를 <표 4>에 수록하였다. 표를 살펴보면 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 손너비와 손목 둘레의 측정치가 근전도 값과 유의한 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났으며, 특히 손너비의 경우 상관계수가 -0.900으로 강한 음의 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났다. 이는 동일한 조건하에서는 손너비가 클수록 더 적은 근육부하가 걸린다는 것을 의미한다.

<표 3> 인체측정 결과

	어깨 너비	팔길이	위팔 둘레	아래 팔 둘레	팔꿈치 높이	손길이	손너비	손목 둘레	손끝 높이
평균	38.61	58.17	29.81	31.72	110.11	18.18	7.91	17.04	69.83
표준 편차	2.00	4.06	3.70	4.07	4.62	0.92	0.48	0.85	3.29

(단위 : cm)

<표 4> 인체 측정치와 근전도 측정치 간의 상관관계

	어깨 너비	팔길이	위팔 둘레	아래 팔 둘레	팔꿈치 높이	손길이	손너비	손목 둘레	손끝 높이
상관 계수	-0.165	-0.272	-0.476	-0.246	-0.273	-0.562	-0.900	-0.739	-0.514
p	0.671	0.479	0.195	0.523	0.478	0.115	0.001	0.023	0.157

4. 결 론

수공구 손잡이의 인간공학적 평가를 위하여 손목자세 및 손잡이 크기에 따른 근전도 측정 실험을 실시하였다. 손목자세에 대한 실험에서는 중립을 기준으로 중립에서 벗어날 수록 동일한 부하를 발휘하는데 필요한 근육부하가 더 많이 걸리는 것으로 나타났다. 따라서, 손잡이의 형태는 작업 중 손목이 중립상태를 유지할 수 있도록 설계되어야 한다. 또, 손잡이 크기에 대한 실험은 부하를 10 kgf와 20 kgf으로 나누어 실시하였다. 실험결과 10 kgf의 부하수준에서는 손잡이의 크기에 따른 근전도 측정치의 차이가 유의하지 않았으며, 20 kgf의 부하수준에서는 손잡이의 크기차이가 근전도 값에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이는 큰 힘을 필요로 하는 작업에 사용되는 공구의 경우 손잡이의 크기가 작업효율에 큰 영향을 줄 수 있음을 의미한다. 20 kgf의 부하수준에서는 손잡이 크기가 55 cm인 경우의 근육부하가 가장 작게 나타났으며, 물림을 감안하면 이는 현재 KS규격에서 제시하고 있는 표준 규격의 범위와 일치한다. 특정한 작업에만 사용되는 전문적인 수공구의 경우 작업시 물리는 물체의 크기를 감안하여 손잡이 크기를 적절히 선택 혹은 설계할 필요가 있다. 끝으로 수공구를 이용한 작업과 관련이 있을 것으로 예상된 각 종 인체측정치와의 상관관계 분석에서는 손너비가 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며, 손너비가 넓을 수록 같은 잡는 면적이 넓기 때문에, 부하를 발휘하는데 필요한 근육부하가 적음을 알 수 있다. 이는 동일한 공구를 사용한 동일한 작업을 하더라도, 사용자마다 그 영향은 달리 나타날 수 있음을 의미한다.

본 연구에서 제시한 실험방법은 현장에서 수공구를 선택, 설계, 평가하는 데 있어 유용한 정보를 제공해 줄 것으로 판단되며, 이를 이용하여 적절한 수공구를 선택 혹은 설계하여 사용한다면 최근에 큰 문제로 대두되고 있는 근골격계 질환의 예방에도 기여할 것으로 생각된다.

그러나, 본 연구에서 수행한 연구결과는 측정상의 어려움으로 인하여 모집단의 수가 비교적 적어 얻어진 결과를 일반화시켜 적용하기에는 어려울 것으로 판단된다. 또한, 실제 작업자를 대상으로 실험을 실시할 경우에는 오랜 기간동안의 작업으로 인한 관련 근육의 강화 및 적절한 자세의 유지 등의 영향으로 대학생들 모집단으로 실시한 실험결과와는 다르게 나타날 가능성도 배제할 수 없다. 따라서, 모집단의 수를 늘리고, 이를 다양화하여 좀 더 정밀한 분석을 실시할 필요가 있다. 3.3절에서 살펴보았

듯이 손너비와의 상관관계가 높게 나타났으므로, 손너비를 기준으로 모집단을 몇 개의 그룹으로 나누어, 각 그룹간의 결과를 비교, 분석하는 작업도 필요할 것으로 판단된다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 노동부, 근골격계 질환 예방업무 편람, 2004
- [2] 박희석, “스크류 드라이버를 사용하는 작업장의 인간공학적 평가 : 심리육체적 접근방법”, 대한인간공학회지, 15(2), 1996 : 51-62
- [3] 김대성, 인간공학적 수공구 설계를 위한 Grip Strength에 관한 연구, 아주대학교 대학원 석사학위 논문, 1998
- [4] Yong-Ku Kong, Brian D. Lowe, "Evaluation of handle diameters and orientations in a maximum torque task", Journal of Industrial Ergonomics, 35(12), 2005 : 1073-1084
- [5] 최광수, 박재규, 정의승, 최재호, “손목 자세와 외부 부하에 따른 손목 불편도 모델링”, 대한인간공학회지, 24(3), 2005 : 11-27
- [6] 이상도, 드릴의 무게와 손목자세의 변화가 작업수행에 미치는 영향, 동아대학교 대학원 석사학위 논문, 1997
- [7] 양성환, 김종인, 최정화, 박범, 갈원모, “수평거리에 따른 요배근력과 척추기립근의 근전도 변화”, 설비관리학회지, 11, 2001 : 391-405
- [8] 김신현, 작업부하에 따른 생리적 반응과 근육피로도에 관한 연구, 경기대학교 대학원 석사학위 논문, 1999
- [9] 김경년, “근전도의 원리와 적용”, 대한두개하악장애학회지, 11(1), 1999 : 35-46
- [10] 손권, “생체역학 모델에 의해 추정된 근력을 평가하기 위한 근전도의 정량적인 해석”, 부산대학교 공과대학 연구보고 제 40집, 1990 : 5-15
- [11] 산업자원부 기술표준원, 인체측정 표준용어집, 대한민국 행복사이즈 사이즈 코리아 2004, 2004
- [12] U.S. Department of Health and Human Services, Selected Topics in Surface Electromyography for Use in the Occupational Setting : Expect Perspective, National Institute for Occupational Safety and Health, 1992
- [13] David B. Jenkins 저, 신 홍철의 공역, 기능해부학, 현문사, 2001 : 181-234
- [14] 한국공업규격, “KS 표준 규격-공구편”, 1987 : 1201-1483
- [15] 우수명, 마우스로 잡는 SPSS, 인간과 복지, 2005

저 자 소 개

양 성 환 : 현 국립한국재활복지대학 의료보장구과 교수. 숭실대학교 환경공학과 석사 학위, 아주대학교 산업공학과 박사학위를 취득하였으며, 산업위생관리기술사이다. 주요 관심분야는 생체역학, 안전공학, 인간공학, 작업개선, 산업위생학 등이다.

조 문 선 : 현 국립한국재활복지대학 의료보장구과 교수. 인하대학교 기계공학과를 졸업하였으며, 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과에서 석사, 박사학위를 취득하였다. 주요 관심분야는 시스템 규명 및 설계, 인간공학 등이다.

강 영 식 : 강원대학교 산업공학과를 졸업하고 아주대학교 산업공학과에서 석사 및 박사학위를 취득하였다. 현재 세명대학교 보건안전공학과 교수로 재직 중이며, 관심분야는 시스템안전관리, 인간공학, FMS, 품질안전, 신뢰성 평가, 경제성 평가 등이다.