Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 27, No. 3 pp.1-6, August 2008

MFFM System을 이용한 손가락 별 파지 폭들의 변화에 따른 악력 및 개인 선호도에 대한 연구

김 대 민 · 공 용 구

성균관대학교 시스템경영공학과

Research of Grip Forces and Subjective Preferences for Various Individual Finger Grip Spans by using an "Adjustable Multi-Finger Force Measurement (MFFM) System"

Dae Min Kim, Yong-Ku Kong

Department of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746

ABSTRACT

Individual finger/total grip forces, and subjective preferences for various individual finger grip spans (i.e., four fingers had identical grip spans or different grip spans) were evaluated by using an "Adjustable Multi-Finger Force Measurement (MFFM) System". In this study, three grip spans were defined as follows: a *'favorite grip span*' which is the span with the highest subjective preference; a '*maximum grip span*' which is the span with the highest total grip force; a '*maximum finger grip span*' which is a set of four grip spans that had maximum finger grip forces associated with the index, middle, ring, and little fingers, respectively. Ten males were recruited from university population for this study. In experiment I, each participant tested the maximum grip force with five grip spans (45 to 65mm) to investigate grip forces and subjective preferences for three types of grip spans. Results showed that subjective preferences for grip spans were not coincidence with the performance of total grip forces. It was noted that the 'favorite grip span' represented the lowest total grip force, whereas the 'maximum finger grip span' showed the lowest subjective preferences. The individual finger forces and the average percentage contribution to the total finger force were also investigated in this study. The findings of this study might be valuable information for designing ergonomics hand-tools to reduce finger/hand stress as well as to improve tool users' preferences and performance.

Keyword: Grip Force, Finger Force, Grip Spans, Hand-tool Design, MFFM System

1. 서 론

근골격계질환이란 근육, 건 그리고 신경 등에 통증을 동반하는 질환들로, 대표적인 예로는 수근관증후군(Carpal Tunnel Syndrome), 건염(Tendonitis), 흉곽출구증후군(Thoracic Outlet Syndrome), 경추자세증후군(Tension Neck Syndrome) 있다. 작업활동이 반복적이고 지속적이며 부자연스러운 경우, 이러한 질환들의 발생률이 높고, 작업 중 또는 휴식 시에 통증을 동반한다.

*이 논문은 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-10915-0).
교신저자: 공용구
주 소: 440-746 경기도 수원시 장안구 천천동 300, 전화: 031-290-7606, E-mail: ykong@skku.edu

국외의 많은 연구에서 이미 근골격계질환의 증상과 작업 위험요인에 대한 연구(Keyserling et al., 1993; Charlotte et al., 1995; Punnett et al., 1998; Tomas et al., 1999)가 이루어져 근골격계질환의 발병을 낮추고자 하였으나, 여전히 근골격계질환의 발병률이 높은 것으로 보고되고 있다. 최근 국내에서도 근골격계질환의 심각성을 고려하여 근골격계질환의 예방관리를 위해 산업안전보건법에 사업주의 근골격계질환 예방의무 조항이 2003년에 신설되었고, 근골격계 부담작업 유해요인조사 지침(KOSHA Code H-30)과 사업장 근골격계질환 예방관리 프로그램 지침(KOSHA Code H-31)이 공표되었다. 그러나 이러한 정부와 연구자들의 노력과 최근 작업장의 자동화에도 불구하고, 여전히 많은 작업자들은 수공구 작업에 의존하고 있으며, 이러한 수공구의 빈번한 사용을 통하여 적합하지 못한 손목자세, 과도한 힘, 높은 반복성, 마찰 또는 압력, 그리고 진동 등으로 인한 사용자의 손 관련 근골격계질환을 발생시킬 수 있는 다양한 위험을 가지고 있다(Groenestejin, 2004).

사용자 중심의 올바른 수공구 손잡이에 대한 디자인을 위해서는 사용자들의 악력에 대한 연구가 필요할 것이다. 특히, 수공구 손잡이의 파지 폭이 수공구 사용에 있어서 힘의 발휘와 손에 발생되는 스트레스에 중요한 요인임이 보고되었다(Meagher, 1987; Grant et al., 1992; Blackwell et al., 1999). 따라서, 수공구 사용에 있어 작업의 능률을 최적화하고 사용자가 사용하기 편리한 수공구 디자인을 위해, 파지 폭은 중요한 고려사항이라 할 수 있을 것이다.

많은 연구자들이 파지 폭과 악력과의 연구를 통하여 사용자에게 적합한 최적의 파지 폭을 찾고자 노력해 왔다(Petrofsky et al., 1980; Pheasant and Scriven, 1983; Talsania and Kozin, 1998; Eksioglu, 2004). Petrofsky et al.(1980)은 14명의 남성과 8명의 여성을 피실험자로 하여 6가지의 파지 폭(32~80mm)에 대한 연구를 통해, 남성과 여성 모두 50~60mm의 파지 폭에서 최대의 악력을 발휘한다고 보고하였다. 이에 반해, Pheasant와 Scriven (1983)은 남녀 각각 20명씩 총 40명에 대한 실험 결과 다소 작은 크기인 45~55mm가 남녀 모두에게 최적의 파지 폭이라고 보고하였으며, Talsania와 Kozin(1998)는 56mm의 파지 폭이 최적의 폭이라고 보고하기도 하였다.

이렇듯 수공구 작업자를 위한 최적의 수공구 손잡이에 대한 많은 연구가 이루어졌으나, 서로의 결과들이 상이하여 분명한 기준을 세우기가 어렵고, 그로 인해 최대 근력을 필요로 하는 작업들에 대한 안전기준 설정 등의 데이터가 부족한 것이 현실이다. 또한 대부분의 연구에서 수공구의 손잡이는 사용자의 인체측정자료들을 고려하여 디자인해야 한다는 것에 동의함에도 불구하고(Fransson and Winkel, 1991; Oh and Radwin, 1993; Blackwell et al., 1999), 대부분의 연구들은 최적의 파지 폭 정의에 있어서, 사용자 손의 크기와 각 손가락의 인체측정자료들을 충분히 고려하지 못하였다. 이는 각 손가락 별로 파지 폭을 조절하고, 그에 따른 각 손가락으로의 힘을 측정할 수 있는 장비의 부재가 가장 큰 원인이라고 할 수 있다.

그러므로 본 연구의 목적은 (1) 각 손가락 별 파지 폭을 자유롭게 조절하고, 각 손가락 별 악력을 측정할 수 있는 새로운 개념의 측정장비인 Multi-Finger Force Measurement System(이하 MFFM System)을 개발하고, (2) 각 손가락의 다양한 파지 폭들에서의 손가락의 힘과 총 악력의 힘 그리고 사용자의 주관적 평가 등의 상호관계를 연구하고자 한다. 끝으로 (3) 각 손가락들의 총 악력에 대한 기여도에 대한 측정 및 선행 연구들과의 비교 분석을 하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 Multi-Finger Force Measurement(MFFM) System 개발

각 손가락 별 악력을 측정하기 위해 4개의 소형 로드셀(Miniature Load Cell, Honeywell Model 13)을 사용하였다. 각 로드셀의 크기는 지름이 9.5mm, 두께가 2.75mm의 소형 로드셀 타입으로 손가락 별 최대 악력을 측정하는데 적합하도록 제작되었다.

MFFM System은 Solidworks를 이용하여 3D 도면을 그린 후, 데이터를 Rapid Prototype(RP) Machine(3D Printer-SST 1200, Strarasys Inc.)에 전달하여 제작하였다. 여러 파지 폭에 대한 각 손가락의 힘을 측정하기 위하여, 센서가 있는 블록과 본체 사이에 슬라이딩 형태의 블록(크기: 5~10mm)을 이용하여 각 손가락 별 파지 폭을 45mm에서 65mm까지 5 또는 10mm 간격으로 쉽게 조절 가능하도록 설계하였다. 외부의 충격에 대한 저항력과 내구력을 위해 ABS 합성수지(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene)의 재질로 제작하였다(그림 1).

악력 측정 실험 시, 손가락들의 발휘 힘과 기여도를 분석하기 위한 분석 모듈로 현재 컴퓨터 제어 · 계측 시스템에 많이 사용되고 있는 LabVIEW Program을 사용하여 구현하였다. 각 센서들로부터 측정된 손가락들의 출력(힘)은 NI DAQmx-6259 장비를 통해 입력되고 분석되었다.

2.2 MFFM System을 이용한 손가락 별 악력 측정

2.2.1 피실험자

피실험자로는 손과 팔에 근골격계질환 경험이 없는 22~

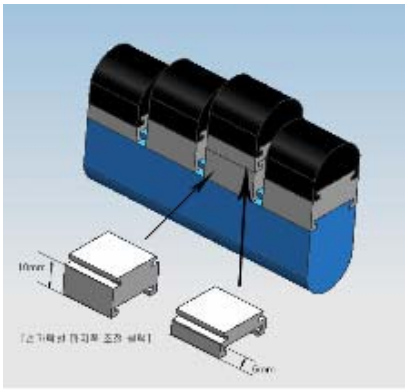

그림 1. MFFM 시스템의 3D 도면

30세(평균 25.4세, 표준편차 1.87)의 건강한 남자 대학생 10명으로 평균키 176.0mm(표준편차: 1.87), 평균 몸무게 75.4kg(표준편차 3.2)이며 모두 오른손을 주로 사용한다. 피실험자들의 평균 손 길이는 187.5mm이고, 최소 168.9 mm에서 최대 201.0mm이었으며, 손 길이는 손을 쫙 편 상태에서 손목의 주름진 곳에서 중지 손가락의 끝까지의 거리로 정의하였다.

2.2.2 실험절차

실험 1: 최대 악력 파지 폭(Maximum Grip Span)과 개인 선호 파지 폭(Favorite Grip Span)

피실험자는 의자에 곧게 앉아 팔을 자연스럽게 옆으로 하고 팔꿈치를 90°로, 손목은 중립을 유지한 자세로 최대 악력 실험을 실시하였다. Caldwell et al.(1974)이 제시한 정적 악력 측정 표준 방법에 의해, 각 피실험자는 무작위로 선정된 5개의 파지 폭(45, 50, 55, 60, 65mm)들에 대하여 4초간 최대 악력을 지속하였으며 총 지속 시간 중 초기 1초간의 데이터를 제외한 데이터의 평균값을 분석용으로 사용하였다. 각 파지 폭에 대하여 3번의 반복 실험을 실시하였으며, 매 1회 측정 후 2분간의 휴식 시간과 함께 각 파지 폭에 대한 편안함의 주관적 선호도를 5점 척도로 평가하였다(1: 가장 불편함, 5: 가장 편안함). 본 실험을 통하여 도출된 두 가지의 파지 폭들에 대한 정의는 다음과 같다.

최대 악력 파지 폭(Maximum Grip Span)
5개의 파지 폭 중, 총 악력(네 손가락의 총 합)이 최대인 파지 폭

개인 선호 파지 폭(Favorite Grip Span)
5개의 파지 폭 중, 개인별 편안함의 주관적 선호도가 가장 높은 파지 폭

실험 2: 최대 손가락 악력 파지 폭(Maximum Finger Grip Span)

실험 1의 데이터를 바탕으로 다음의 새로운 파지 폭에 대한 정의를 도출하였다. 즉, 각 손가락이 발휘할 수 있는 힘이 최대인 서로 다른 4개의 손가락 별 파지 폭들의 조합을 가진 파지 폭을 말한다.

최대 손가락 악력 파지 폭(Maximum Finger Grip Span)
피실험자 별로 각 손가락(검지, 중지, 약지, 그리고 소지)에서 최대의 힘을 발휘하는 파지 폭들의 조합으로 이루어진 파지 폭

실험 1의 결과를 토대로 정의된 '최대 손가락 악력 파지 폭'으로 MFFM System의 파지 폭을 조절한 뒤, 각 피실험자들은 실험 1과 같은 방법으로 4초간 최대 악력을 측정하였다. 3회 반복 측정하였으며, 매 1회 측정 후, 휴식 시간 2분이 주어졌고, 최대 손가락 악력 파지 폭에 대한 주관적 선호도를 5점 척도로 평가하였다(1: 가장 불편함, 5: 가장 편안함).

3. 실험 결과

3.1 실험 1

3.1.1 주관적 선호도

각 파지 폭에 대한 주관적 선호도에서 파지 폭의 영향에 대한 분석 결과, 통계적으로 유의함($p<0.05$)을 알 수 있었다. 그림 2는 여러 파지 폭들에 대한 최대 악력 측정에서의 주관적 선호도 평가 결과를 보여준다. 즉, 50과 45mm의 파지 폭이 피실험자들에게 가장 편안한 주관적 선호도를

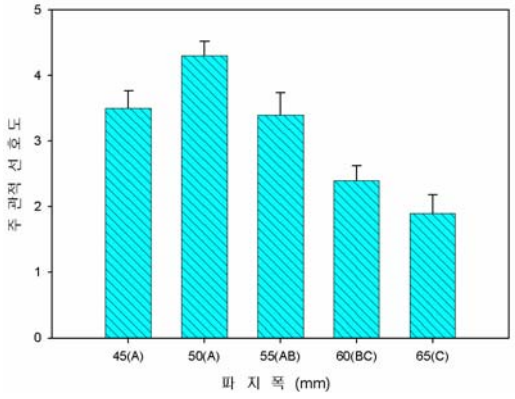

그림 2. 다양한 파지 폭에 대한 주관적 선호도
(알파벳은 통계적으로 유의한 그룹을 나타냄)

(각각 평균 4.3과 3.5) 보였으며, 그 다음으로는 55(평균 3.4)와 60mm(평균 2.4)의 파지 폭이었다. 가장 큰 파지 폭의 그립인 65mm에 대해서는 대부분의 피실험자들이 가장 낮은 선호도(평균 1.9)로 평가했음을 보여준다.

3.1.2 총 악력

피실험자들은 55와 50mm 파지 폭에서 가장 큰 악력(각각 312.9N, 285.9N)을 보여주었으며, 45mm(280N)와 60mm(273.6N) 순으로 총 악력이 줄어들었다. 가장 큰 파지 폭인 65mm에서는 가장 작은 악력(268.2N)을 보여주었다(표 1).

표 1은 또한 파지 폭에 따른 전체 악력에 대한 각 손가락의 힘과 기여도를 보여준 것이다. 전체 악력에 대한 각 손가락 힘의 분석에서는 중지가 가장 큰 악력과 기여도[평균: 92.5N(85.6~105N), 32.6%(29.5~34.3%)]를 보여준다. 그 뒤를 약지[평균: 79.9N(73.1~87.9N), 28.1%(24.3~31.5%)]와 검지[평균: 70.6N(59.1~75.2N), 24.8%(22.0~26.4%)]가 이었으며, 소지에서는 [평균: 41.1N(37.0~45.6N), 14.5%(7.1~16.2%)]의 기여도를 보여 다른 손가락에 비해 통계적으로 유의하게 가장 낮은 손가락 악력과 기여도를 보였다.

표 1. 파지 폭에 대한 총 악력, 각 손가락 힘(N), 기여도(%)
(알파벳은 통계적으로 유의한 그룹을 나타냄)

파지 폭 (mm)	각 손가락 힘(N)과 총 악력에 대한 기여도(%)				총 악력 (N)
	검지	중지	약지	소지	
45	74.0 (26.4)	87.4 (29.5)	73.1 (24.3)	45.5 (16.2)	280.0
50	75.2 (26.3)	98.0 (34.3)	75.7 (26.4)	37.0 (13.0)	285.9
55	74.5 (23.8)	105.0 (33.5)	87.9 (28.1)	45.6 (14.6)	312.9
60	70.3 (25.7)	86.5 (31.6)	78.1 (28.5)	38.7N (7.1)	273.6
65	59.1 (22.0)	85.6 (31.9)	84.7 (31.5)	38.9N (14.2)	268.2
Avg.	70.6^{C} (24.8)	92.5^{A} (32.6)	79.9^{B} (28.1)	41.1^{D} (14.5)	284.1

3.1.3 '개인 선호 파지 폭'과 '최대 악력 파지 폭'의 총 악력과 선호도

실험 1에서 얻어진 데이터와 정의대로 각 피실험자들의 '개인 선호 파지 폭'과 '최대 악력 파지 폭'의 총 악력과 선호도를 분석하였다. '개인 선호 파지 폭'에서의 평균 총 악력과 개인 선호도는 각각 305.7N과 4.5로 나타났으며, '최대 악력 파지 폭'에서는 '개인 선호 파지 폭'보다 다소 높은 총 악력(325.9N)과 다소 낮은 선호도(3.3)를 보였다.

3.2 실험 2: '최대 손가락 악력 파지 폭'의 악력과 선호도

실험 1과 2로부터 얻어진 데이터와 정의를 기반으로 각 피실험자들의 '최대 손가락 악력 파지 폭'에 대한 악력의 결과는 다음과 같다.

'최대 손가락 파지 폭'에서의 총 악력의 평균과 선호도는 355.1N와 3.0이었으며, 각 손가락 별 악력과 총 악력으로의 기여도는 중지, 약지, 검지, 그리고 소지의 순으로 각각 124.6N(35.1%), 106.4N(30.0%), 79.4N(22.4%), 그리고 44.7N(12.6%)로 측정되었다.

3.3 실험 1과 실험 2 정리

그림 3은 실험 1과 실험 2의 결과를 토대로 '개인 선호 파지 폭', '최대 악력 파지 폭' 그리고 '최대 손가락 악력 파지 폭'에 대한 주관적 선호도와 총 악력을 정리하여 보여준다.

그림에서 볼 수 있듯이, 파지 폭의 종류가 주관적인 선호도에 통계적으로 유의함(p=0.01)을 보여주고 있는데, '개인 선호 파지 폭'의 주관적 선호도는 다른 두 파지 폭들보다 높게(4.5) 나타났으며, '최대 손가락 악력 파지 폭'의 주관적 선호도(3.0)는 통계적으로 유의하지는 않지만 '최대 악력 파지 폭'의 선호도(3.3) 보다 다소 낮게 나타남을 보여준다.

각 파지 폭의 평균 총 악력의 분석에서는 파지 폭의 종류가 네 손가락의 총 악력의 합인 총 악력에는 통계적으로 유의한 요인으로 나타나지 않음을 보여주었다. 비록, 통계적으로 유의하지는 않았으나 일반적으로 파지 폭의 종류에 따라 일련의 경향을 보여주고 있는데, 이는 주관적 선호도와 대조적인 경향이다. 즉, '최대 손가락 악력 파지 폭'에서의 총 악력이 상대적으로 크고(355.1N), 다음으로 '최대 악력 파

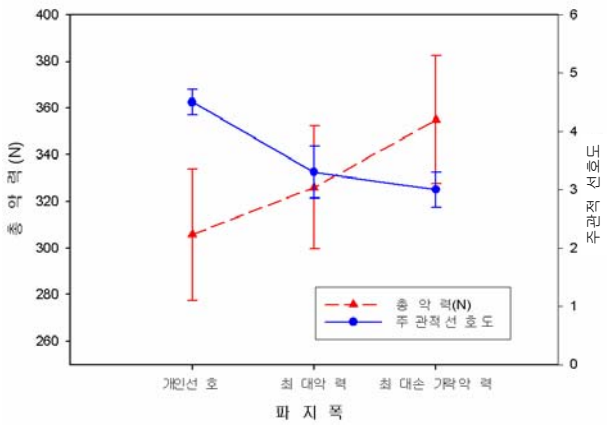

그림 3. 파지 폭들에 대한 주관적 선호도와 총 악력(N)

지 폭'(325.9N), 그리고 '개인 선호 파지 폭'(305.7N)순으로 나타났다.

4. 결론 및 토의

주관적 선호도 분석 결과 대부분의 피실험자들은 45mm와 50mm 파지 폭을 다른 파지 폭들 보다 더 선호하는 경향을 보인 반면, 총 악력의 결과는 주관적 선호도와 다소 차이가 있었음을 알 수 있었다. 즉, 55mm의 파지 폭에서의 총 악력(312.9N)이 45mm나 50mm의 파지 폭에서의 총 악력(각각 280N, 285.9N)보다 다소 높았다. 다만, 주관적인 선호도가 가장 낮은 65mm의 파지 폭에서의 총 악력은 다른 파지 폭들에 비해 가장 낮은 총 악력(268.2N)을 보였다.

본 연구에서 각 손가락들의 힘과 각 손가락들이 총 악력에 기여하는 기여도가 분석되었다. 즉, 총 악력에 대한 중지의 기여도는 32.6%로 가장 컸으며, 소지의 경우는 기여도가 가장 낮은 것으로 나타났다(14.5%). 검지와 약지의 기여도 크기에 대한 선행 연구자들의 서로 다른 의견이 있는데, 본 연구에서는 약지의 총 악력에 대한 기여도가(28.1%) 검지의 기여도(24.8%) 보다 다소 높게 나타났다. 이러한 결과들은 기존의 선행 연구들과(Hazelton et al., 1975; Ohtsuki, 1981; Talsania and Kozin, 1998; Kong et al., 2007) 유사한 결과를 보인다. 즉, 선행 연구에서도 역시 중지의 기여도가 33.3~39.2%로 가장 컸으며, 소지의 경우는 11~18.2%로 가장 낮게 보고되었다. 이미 언급하였듯이 약간의 기여도의 차이가 있기는 하지만, 기존 연구에서의 검지와 약지의 기여도는 각각 20.2~27.6%와 22.0~28.7%로 본 연구와 유사한 범위를 보여주고 있다.

실험 1의 결과를 토대로, 실험 2에서는 '최대 손가락 악력 파지 폭'으로 조정한 후에 악력과 선호도를 평가하였다. 평균 총 악력은 355.1N으로 '최대 악력 파지 폭'(312.9N)과 '개인 선호 파지 폭'(285.9N)에서의 총 악력보다 각각 13%와 24.2% 큰 악력을 보여주었다. 그에 반해, 개인적 선호도의 경우에는 '최대 악력 파지 폭'과 '최대 손가락 파지 폭'이 '개인 선호 파지 폭'에 비해 현저하게 낮음을 알 수 있었다. 그러므로, 본 연구를 통하여 주관적 선호도와 수행능력(즉, 총 악력)과의 상관관계를 분석한다면, 그 관계가 그리 높다고 할 수 없을 것이다. 다시 말하면, 주관적 선호도가 높다고 해서 수행능력인 총 악력이 높다고 할 수 없으며, 총 악력이 높은 파지 폭이 개인 선호도가 높다고 할 수 없을 것이다.

다만, 본 연구의 한계라고 할 수 있다면, 피실험자의 수가 다소 적은 연구였으며, 또한 '최대 손가락 악력 파지 폭'에 대한 주관적 평가에서 대부분의 피실험자들의 경우, 각 손가락 별로 서로 다른 파지 폭으로 이루어진 그립에 대해 익숙해질 수 있는 시간의 부족을 들 수 있다. 다시 말하면, 서로 다른 손가락 별 파지 폭인 그림 1과 같은 손잡이의 경우, 비록 각 손가락들이 최대의 악력을 발휘할 수 있다고 하더라도 피실험자들의 주관적 느낌은 다소 생소하거나 어색할 수 있었을 것으로 생각된다.

비록 몇 가지 연구의 한계점이 있었으나, 추후 연구를 통하여 보완해 나갈 것이며, 본 연구의 결과가 수공구 사용자들의 부담을 줄이고, 효율을 증가 시키기 위한 인간공학적 손잡이의 디자인에 있어 중요한 요소 중의 하나인 파지 폭에 대한 좋은 정보가 되기를 기대한다.

참고 문헌

한국산업안전공단, 2003, KOSHA CODE H-30-2003.

한국산업안전공단, 2003, KOSHA CODE H-31-2003.

Blackwell, J. R., Kornatz, K. W. and Heath, E. M., Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis, *Applied Ergonomics*, 30, 401-405, 1999.

Bernard, B. P., Musculoskeletal disorders and workplace factors: a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back, Publication #97-141, Cincinnati OH: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, 1997.

Caldwell, L. S., Chaffin, D. B., Dukes-Dobos, F. N., Kroemer, K. H. E., Laubach, L. L., Snook, S. H. and Wasserman, D. E., A proposed standard procedure for static muscle strength testing, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 35, 201-206, 1975.

Charlotte, F. H., Bystrom, S. and Kilbom, A., Self-reported physical exposure and musculoskeletal symptoms of the forearm-hand among automobile assembly-line workers, *Journal of Occupation and Environmental Medicine*, 37, 1136, 1995.

Eksioglu, M., Relative optimum grip span as a function of hand anthropometry, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34, 1-12, 2004.

Farris, B. A., Fernandez, J. E. and Agarwal, R. K., The effects of wrist posture on the force exerted by individual fingers, *Advances in Occupational Ergonomics and Safety II*, 301-304, 1997.

Fransson, C. and Winkel, J., Hand strength: the influence of grip span and grip type, *Ergonomics*, 34, 881-892, 1991.

Groenestejin, L., Eikhout, S. M. and Vink, P., One set of pliers of more tasks in installation work: the effects on (dis) comfort and productivity, *Applied Ergonomics*, 35, 485-492, 2004.

Grant, K. A., Habes, D. J. and Steward, L. L., An analysis of handle

designs for reducing manual effort: The influence of grip diameter, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 10, 199-206, 1992.

Hagberg, M., Silverstein, B., Wells, R., Smith, M. J., Hendrick, H. W., Carayon, P. and Perusse, M., Work related musculoskeletal disorders (WMSDs): A reference book for prevention, London: Taylor & Francis, 1995.

Hazelton, F. T., Smidt, G. L., Flatt, A. E. and Stephens, R. I., The influence of wrist position on the force produced by the finger flexors, *Journal of Biomechanics*, 8, 301-306, 1975.

Kattel, B. P., Sivasubramanian, K., Fernandez, J. E. and McMulkin, M. L., Evaluation of the force exerted by individual fingers during a multidigital gripping task, *Advances in Industrial Engineering Applications and Practice I*, 267-272, 1996.

Keyserling, W. M., Steteson, D. S., Silverstein, B. A. and Brouders, M. L., Checklist for evaluating ergonomic risk factors associated with upper extremity cumulative trauma disorders, *Ergonomics*, 36 (7), 807-831, 1993.

Kong, Y. K., Lee, S. J., Lowe, B. D. and Song, S. H., Evaluation of various handle grip spans for optimizing finger specific force based on the users' hand sizes. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 51st Annual Meeting*. 884-888, 2007.

Meagher, S. W., Tool design for prevention of hand and wrist injuries, *Journal of Hand Surgery*, 12 (A), 855-857, 1987.

Oh, S. and Radwin, R. G., Pistol grip power tool handle and trigger size effects on grip exertions and operator preference, *Human Factors*, 35(3), 551-569, 1993.

Ohtsuki, T., Inhibition of individual fingers during grip strength exertion, *Ergonomics*, 24 (1), 21-36, 1981.

Petrofsky, J. S., Williams, C., Kamen, G. and Lind, A. R., The effect of handgrip span on isometric exercise performance, *Ergonomics*, 23(12), 1129-1135, 1980.

Pheasant, S. T. and Scriven, J. G., Sex differences in strength: Some implications for the design of handtools, *Proceedings of the Ergonomics Society's Annual Conference*, 9-13, 1983.

Punnett, L., Ergonomic stressors and upper extremity disorders in vehicle manufacturing: cross sectional exposure-response trends, *Occupation and Environmental Medicine*, 55, 414-420, 1998.

Talsania, J. S. and Kozin, S. H., Normal digital contribution to grip strength assessed by a computerized digital dynamometer, *The Journal of Hand Surgery*, 23B (2), 162-166, 1998.

Tomas, E., Hanse, J. J. and Kadefors, R., Musculoskeletal symptoms due to technical preconditions in long cycle time work in an automobile assembly plant: a study of prevalence and relation to psychosocial factors and physical exposure, *Applied Ergonomics*, 30, 443-453, 1999.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 김 대 민 ❖ kimdaemin@skku.edu
대진대학교 산업공학과 학사
현 재: 성균관대학교 산업공학과 석사과정
관심분야: 인간공학적 제품 디자인 및 평가,
근골격계질환 예방 및 분석

❖ 공 용 구 ❖ ykong@skku.edu
미국 펜실베니아 주립대학교 산업공학과 박사
현 재: 성균관대학교 시스템경영공학과 조교수
관심분야: 인간공학적 제품 디자인 및 평가,
근골격계질환 예방 및 분석

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2008년 04월 11일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2008년 05월 21일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2008년 06월 18일