Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 26, No. 3 pp.59-65, August 2007

파지 폭과 손 크기에 따른 각 손가락이 총 악력에 미치는 영향 분석

정명철[1] · 김대민[2] · 공용구[2]

[1]아주대학교 산업정보시스템공학부 / [2]성균관대학교 시스템경영공학과

Evaluation of Individual Finger Force to Grip Strength in Various Grip Spans and Hand Sizes

Myung-Chul Jung[1], Dae Min Kim[2], Yong-Ku Kong[2]

[1]Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University, Suwon, 443-749
[2]Department of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746

ABSTRACT

In this study, six grip spans (45mm~65mm) were tested to evaluate the effects of handle grip span and user's hand size on maximum grip strength, individual finger force, and subjective ratings of comfort using a digital dynamometer with individual force sensors. Forty-six males were assigned into three hand size groups according to their hand lengths. Results showed that overall 55mm and 50mm grip spans were the most comfortable sizes and associated with the highest grip strength in the maximum grip force exertions, whereas 65mm grip span was rated as the least comfortable size as well as the lowest grip strength. In the interaction effect of grip span and hand size, small and middle hand sized participants rated the best preference and the least preference grip spans differently with large hand sized participants. With respect to the analysis of individual finger force, the middle finger force was the strongest and the highest contribution to the total finger force, followed by ring, index and little fingers. In addition, it was noted that each finger had a different optimal grip span for exerting maximum force resulting in a bowed contoured shaped handle for two-handle hand tools. Thus, the grip spans for two-handle hand tools might be designed according to the users' hand and finger anthropometrics to maximize performance and subjective perception of comfort.

Keyword: Individual finger force, Hand size, Grip span, Two-handle tool designs

1. 서 론

파지 폭(Grip span)은 수공구 손잡이의 성능을 최대화하고 손가락 굽힘 건(Digit flexor tendon), 손허리 자쪽곁인대(Metacarpal ulnar collateral ligament), 손목손허리인대(Carpometacarpal ligament)의 스트레스를 최소화하기 위한 수공구 디자인의 중요한 요소인 동시에 수공구를 이용한 수작업에서 힘의 발휘에 영향을 끼치는 주요 요소이기도 하다(Meagher, 1987; Grant et al., 1992; Blackwell et al., 1999). 손잡이가 두 개인 쌍손잡이 수공구(Two-handle hand tools) 사용에서도 파지 폭은 근골격계질환

*이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2007-0436-000).
교신저자: 공용구
주 소: 440-746 경기도 수원시 장안구 천천동 300, 전화: 031-290-7606, E-mail: ykong@skku.edu

발병의 위험 요소 중 하나이며 사용자의 작업능률에 영향을 미치는 설계요인이라고 할 수 있다(Pheasant and Scriven, 1983; Fransson and Winkel, 1991; Blackwell et al., 1999). 여러 연구들은 최대 악력을 발휘할 수 있는 쌍손잡이 수공구에 대한 최적의 손잡이간 폭을 45mm~66.3mm로 다소 넓은 범위를 제안해 왔다. Petrofsky et al.(1980)은 32mm~80mm 크기 6개의 파지 폭에 대한 연구에서 손의 크기와 힘과는 큰 상관관계가 있지 않고, 남녀 대부분 50mm~60mm에서 최대 악력을 발휘함을 보여주었다. Pheasant and Scriven(1983)의 연구 역시 Petrofsky et al.의 손의 크기와 힘과의 상관관계와 유사한 결과를 발표했으나, 최대의 악력의 크기는 45mm 또는 55mm로 발표하였다(35mm~95mm 파지 폭 실험). Oh and Radwin(1993)은 40mm, 50mm, 60mm 그리고 70mm의 파지 폭에 대한 실험에서 Petrofsky et al.과 같이 50mm~60mm가 최대의 악력을 발휘하는 파지 폭임을 보였다. 다만, 이 연구를 통하여 손의 총 악력은 피실험자들의 손의 크기(손 길이)와 유의한 상관관계가 있음을 보인 것이 Petrosky et al.의 결과와 큰 차이점이라 할 수 있다. 피실험자의 손의 크기와 총 악력과의 관계를 연구한 다른 하나인 Eksioglu(2004)의 연구에 의하면, 30mm~105mm의 파지 폭 실험을 통해 61.3mm~66.3mm가 최대의 악력과 더불어 높은 선호도임을 알 수 있다. Eksioglu는 피실험자의 손이 크기에 따른 최대 악력 파지 폭을 연구하기 위해 TCL(Thumb crotch length)라는 개념을 사용하였다. 또 다른 연구들은 남성과 여성의 악력 차이(여성이 쥐는 힘은 남성의 56%~70%)와 주로 쓰는 손(Dominant hand)과 쓰지 않는 손(Non-dominant hand)의 악력 차이(주로 쓰지 않는 손은 주로 쓰는 손 악력의 80~89%)를 연구하였다(Pheasant and Scriven, 1983; Härkönen et al., 1993; Talsania and Kozin, 1998).

비록 이전의 연구들의 결과에서 최대 악력에 대한 파지 폭 크기가 다소 넓고 다양하게 보고되었지만, 대부분의 연구들은 최적의 파지 폭에서 파지 폭이 커지거나 작아지면 총 악력이 감소한다는 것에는 동의하고 있다. 사용자 손의 크기에 관한 연구로, 사용자의 손 크기에 대한 영향에 관해서는 여러 서로 다른 견해들이 있어 왔다. Pheasant and Scriven(1983)과 Härkönen et al.(1993)은 손의 크기가 악력에 중요한 영향을 주지 않는다고 발표한 반면, Eksioglu(2004)와 Oh and Radwin(1993)은 최적의 파지 폭은 사용자의 손의 크기에 따라 달라진다고 하였다. 몇몇 연구들이 쌍손잡이 수공구를 위한 파지 폭에 관한 연구를 해왔지만, 쌍손잡이 수공구에서 최상의 파지 폭을 설계하는데 파지 폭과 사용자 손의 인체측정학적 관계를 고려한 연구들은 찾아보기 힘들다.

특히, 수공구 연구에 있어서 손가락의 크기와 파지 폭과의 관계를 구체적으로 연구한 사례들은 많지 않다. Fransson and Winkel(1991)은 펜치(pliers)를 사용할 때 두 가지 쥐는 방법(즉, Traditional grip: 검지와 중지가 펜치의 머리 방향 vs. Reversed grip: 약지와 소지가 펜치의 머리 방향)을 비교하여 각 손가락의 힘과 최종 합력과의 관계를 연구하였다. 비록 각 손가락의 힘을 측정하지는 않았지만, Blackwell et al.(1999)은 그들의 실험을 근거로 수공구의 손잡이는 사용자의 손 크기뿐만 아니라, 각 손가락의 길이를 고려해야 한다고 발표하였다.

그러므로, 본 연구의 목적은 (1) 파지 폭과 사용자의 손 크기가 최대 악력과 손가락의 개별적인 힘, 그리고 주관적인 선호도에 미치는 영향을 조사하고, (2) 각각의 손가락마다 힘 센서가 달린 디지털 핸드그립 악력계를 이용하여 각 파지 폭에 따른 총 악력에 대한 각 손가락들의 기여도를 분석하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

University of Cincinnati에 재학중인 20세에서 39세까지(평균 25.9세, 표준편차 4.9) 46명의 근골격계질환 경험이 없는 건강한 남자 대학생들이 본 실험에 참가하였다. 실험 전, 피실험자들의 키와 몸무게 그리고 손 길이를 각각 측정하였다. 평균 키와 몸무게는 각각 176cm(163~195.6 cm)와 73.9kg(54.5~103.5kg)이다. 손 길이는 쫙 편 손의 손목 주름진 곳에서부터 가운데 손가락의 끝까지로 정의하였다. 평균 피실험자들의 손 길이는 187.1mm였으며, 최소 173.5mm에서 최대 208mm였다. 손 길이에 따라 피실험자들은 미국 성인 남자 인체측정자료를 기준으로 3개의 그룹으로 나누었다(Pheasant and Haslegrave, 2006).

(1) 작은 손: 30백분위수 이하(186.0mm 이하)
(2) 중간 손: 30~70백분위수(186.0mm~196.3mm)
(3) 큰 손: 70백분위수 이상(196.3mm 이상)

2.2 실험장치

4개의 센서가 있는 NK DIGITS-Grip 시스템(NK Biotechnical Corp., Minneapolis, MN, USA)을 이용하여 손 전체의 악력뿐만 아니라 각 손가락이 발휘하는 힘을 정밀하게 측정하였다. 자체 제작된 교체 가능한 손잡이들은 외부의 충격에 강한 저항력과 내구력을 가진 ABS 합성수지(Acrylonitrile-butadiene-styrene)로 만들어졌으며, 교체 가능하도록 만들기 위하여 설계도를 그린 뒤, 컴퓨터로 3D

데이터를 생성한 후 밀링 머신으로 제작하였다. 기존의 연구들의 검증을 위하여 손잡이의 크기를 45mm에서 65mm까지 5mm씩 증가시켜 5가지 파지 폭에 대한 악력을 실험할 수 있도록 하였다(그림 1).

시스템 데이터 측정 프로그램에서 숫자와 그래프 형식을 통해 각 손가락의 힘(엄지손가락 제외)과 손 전체의 악력(4개 손가락 힘의 합)을 기록하고 분석하였다.

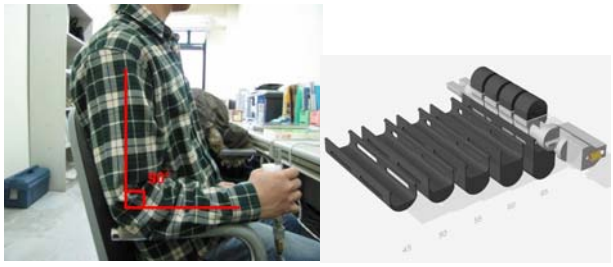

그림 1. 실험자세와 자체 제작된 5개의 손잡이를 사용하는 NK DIGITS-Grip 시스템

2.3 실험 계획

사용자의 손 크기에 따른 파지 폭의 변화에 대한 악력과 개인적인 선호도의 변화를 평가하기 위해 독립변수로 5개의 손잡이(45mm, 50mm, 55mm, 60mm, 65mm)와 3그룹(큰 손, 중간 손, 작은 손)의 손 크기가 사용되었다.

피실험자들 중 작은 손 그룹에는 25명의 피실험자가 할당되었고, 중간 손 그룹에는 12명, 큰 손 그룹에는 9명의 피실험자들이 할당되었다. 손 크기 그룹 간의 피실험자 수가 다르므로, General linear model(GLM)을 이용한 Unbalanced design의 분석 방법을 사용하여 손 크기를 랜덤 효과변수(Random effect variable)로 간주한 내재설계(Nested design)를 이용하였다.

피실험자는 실험 목적과 절차에 대해 설명을 들은 후, 의자에 곧게 앉아 팔을 자연스럽게 옆으로 하고 팔꿈치를 90도, 손목을 중립에 위치시켰다(그림 1). Caldwell et al. (1974)에 의해 제안된 정적 악력 측정에 대한 표준 방법을 근거로, 피실험자들은 4초 간 최대 악력을 지속하였으며, 지속시간 동안의 총 악력들의 평균값을 데이터로 사용하였다. 본 실험에서는 5개의 서로 다른 파지 폭을 무작위로 사용하였으며, 실험과 실험 사이에는 피실험자의 피로 효과를 줄이기 위해 2분의 휴식이 제공되었다. 최대 악력 측정은 총 3번의 실험을 반복 수행하였고 분석을 위한 데이터로 3번 측정의 평균값을 이용하였다. 모든 실험이 끝난 뒤 각 피실험자는 각 손잡이에 대한 편안함의 주관적인 선호도를 5점 척도로 평가하였다(1: 가장 불편함, 5: 가장 편안함).

3. 연구 결과

3.1 주관적 선호도 순위

통계적 분석을 통해 주관적 선호도에서 파지 폭의 영향(p<0.001)과 손 크기와 파지 폭 간의 교호작용(p=0.0134)이 통계적으로 유의함을 알 수 있었다. 그림 2는 파지 폭이 45mm에서 65mm인 경우, 최대 악력 작업에서의 주관적 선호도 평가 결과를 보여준다. 유의수준 0.05에서, Tukey test의 비교 분석에서 피실험자들은 크기가 50mm와 55 mm인 파지 폭에서 가장 높은 선호도를 보였으며, 다음으로는 60mm와 45mm가 각각 그 뒤를 이었다. 파지 폭이 65 mm인 손잡이에 대해서는 대부분의 피실험자들은 다른 파지 폭들보다 낮은 선호도를 보였음을 알 수 있었다.

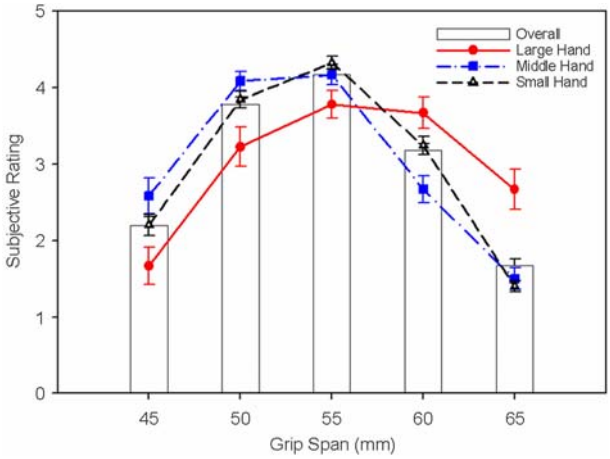

그림 2. 파지 폭에 대한 주관적 선호도 평가 결과(1: 가장 불편함, 5: 가장 편안함; *Tukey Test 결과를 알파벳으로 표기)

손 크기와 파지 폭 간의 교호작용은 55mm와 50mm 파지 폭에서 작은 손과 중간 손 그룹이 편안하다고 느꼈고 65mm 파지 폭에서는 가장 불편하다고 느꼈다. 이에 반해, 큰 손 그룹은 55mm와 60mm의 파지 폭에서 다른 파지 폭보다 편안함을 느꼈으며, 45mm 파지 폭에서는 가장 불편한 파지 폭이라고 보고하였다.

3.2 총 악력

총 악력에 대한 통계적 분석 결과, 파지 폭의 주효과(p<0.0001)와 파지 폭과 손 크기 간의 교호작용(p=0.003)이 통계적으로 유의함을 알 수 있었다. 평균적으로, 파지 폭이 55mm와 50mm일 때 참여자들이 높은 악력(각각 433.6 N, 430.8N)을 보였으며, 그 다음이 45mm와 60mm였다.

65mm의 파지 폭이 전체 파지 폭 중 가장 작은 악력(378N)을 보였다. 표 1은 손 크기와 파지 폭에 따른 총 악력을 보여준 것이다.

파지 폭과 손 크기 사이의 교호작용 효과에 대한 분석에서, 작은 손 그룹의 경우, 파지 폭이 45mm일 때 가장 높은 총 악력을 보였으며, 50mm와 55mm가 그 뒤를 이었다. 중간 손 그룹에서는 55mm, 50mm, 45mm의 순으로, 큰 손 그룹에서는 55mm, 60mm 순으로 높은 총 악력을 보였다. 폭이 65mm인 손잡이의 경우는 모든 손 크기 그룹에서 가장 낮은 총 악력을 보였다.

큰 손 그룹의 평균 총 악력(470.3N)은 중간 손 그룹(423.6N)과 작은 손 그룹(394.5N)의 총 악력에 비해 각각 11.0%와 19.2% 높았다. 중간 손 그룹의 평균 총 악력은 작은 손 그룹의 평균 총 악력보다 7.4% 높았다.

표 1. 손 크기와 파지 폭에 대한 총 악력 분석 결과
(Tukey Test 결과를 알파벳으로 표기, 단위 N)

손 크기	파지 폭				
	45mm	50mm	55mm	60mm	65mm
전체	427.9^{AB}	430.8^{A}	433.6^{A}	414.6^{B}	378.0^{C}
작은 손	411.2^{A}	410.9^{A}	404.8^{A}	391.2^{B}	354.6^{C}
중간 손	438.9^{A}	442.4^{A}	447.1^{A}	411.7^{B}	378.1^{C}
큰 손	459.3^{CD}	470.5^{BC}	495.6^{A}	483.3^{AB}	443.0^{D}

3.3 주관적 선호도와 총 악력과의 관계

표 2는 주관적 선호도와 그에 따른 총 악력과의 관계를 제시하고 있다. Tukey test 비교 분석 결과를 토대로 요약하자면, 선호도가 좋은 파지 폭에 대한 총 악력이 그렇지 못한 파지 폭에 대한 총 악력보다 큰 경향을 보여준다고 할 수 있다. 특히, 선호도가 5인 파지 폭의 총 악력은 438.4N으로 비록 선호도 4와 3인 파지 폭의 총 악력(424.7N과 428.8N)과는 유사하지만, 선호도 2와 1에 대한 총 악력(406.1N과 387.0N) 보다는 통계적으로 큰 악력임을 알 수 있었다. 또한 선호도 4와 3인 파지 폭의 총 악력은 선호도 1인 파지 폭의 총 악력보다 높음을 보여준다.

표 2. 주관적 선호도와 총 악력관계 분석
(Tukey Test 결과를 알파벳으로 표기, 단위 N)

	주관적 선호도				
	1	2	3	4	5
총 악력(N)	387.0^{C}	406.1^{BC}	428.8^{AB}	424.7^{AB}	438.4^{A}

3.4 각 손가락의 힘

표 3는 파지 폭에 따른 전체 악력에 대한 각 손가락 힘과 기여도를 요약한 것이다. 예상했던 것과 같이, 전체 힘에 가장 높은 기여를 하는 손가락은 중지였다(평균 156N, 기여도 37.5%). 다음으로는 약지(119.6N, 28.7%)와 검지(84.1N, 20.0%)이며, 전체 힘에 대한 소지의 평균 힘과 기여도는 56.9N과 13.6%였다.

표 3를 통해 각각의 손가락 힘이 파지의 폭과 관련되었다는 것을 알 수 있었다. Tukey의 비교 분석에 의하면, 중지의 힘은 55mm 길이의 폭일 때 최대가 되었고, 파지 폭이 줄어들거나 늘어나면서 그 힘이 감소하였다. 반면에 소지의 힘은 손잡이의 길이가 늘어남에 따라 주목할 만하게 감소하는 경향을 보였다(즉, 45mm일 때 최대이고 65mm일 때가 최소). 검지와 약지의 힘은 모두 손잡이의 길이가 65mm일 때 가장 작은 값을 보였다.

표 3. 총 악력에 대한 각 손가락 힘과 기여도 분석 결과
(Tukey Test 결과를 알파벳으로 표기)

파지 폭 (mm)	총 악력 (N)	손가락 힘(N) 및 기여도(%)			
		검지	중지	약지	소지
45	427.9	84.8^{A} (19.8)	154.3^{B} (36.1)	124.4^{A} (29.1)	64.3^{A} (15.0)
50	430.8	86.9^{A} (20.2)	160.7^{AB} (37.3)	123.3^{A} (28.6)	59.9^{B} (13.9)
55	433.6	87.8^{A} (20.3)	163.8^{A} (37.8)	123.8^{A} (28.5)	58.2^{B} (13.4)
60	414.6	83.4^{A} (20.1)	156.6^{B} (37.8)	120.7^{A} (29.1)	54.0^{C} (13.0)
65	378.0	77.5^{B} (20.5)	146.7^{C} (38.8)	106.0^{B} (28.0)	47.9^{D} (12.7)
평균	417.0	84.1 (20.2)	156.4 (37.5)	119.6 (28.7)	56.9 (13.6)

각각의 손가락에 대한 손의 크기와 파지 폭의 교호작용 효과에 대한 분석 결과는 그림 3에 제시되어 있다. 결과는 중지와 약지에서 교호작용 효과가 통계적으로 유의하였다(p=0.0049와 0.0061). 중지에 관해 작은 손과 중간 손 그룹의 피실험자들은 50mm~55mm의 범위에서 최대의 악력을, 큰 손 그룹의 피실험자들은 55mm~60mm에서 최대의 힘을 나타냈다. 약지에서 작은 손 그룹은 45mm~50mm에서 최대의 힘을, 중간 손 그룹은 45mm~55mm에서, 큰 손 그룹은 55mm~60mm의 파지 폭에서 최대의 힘을 나타내었다.

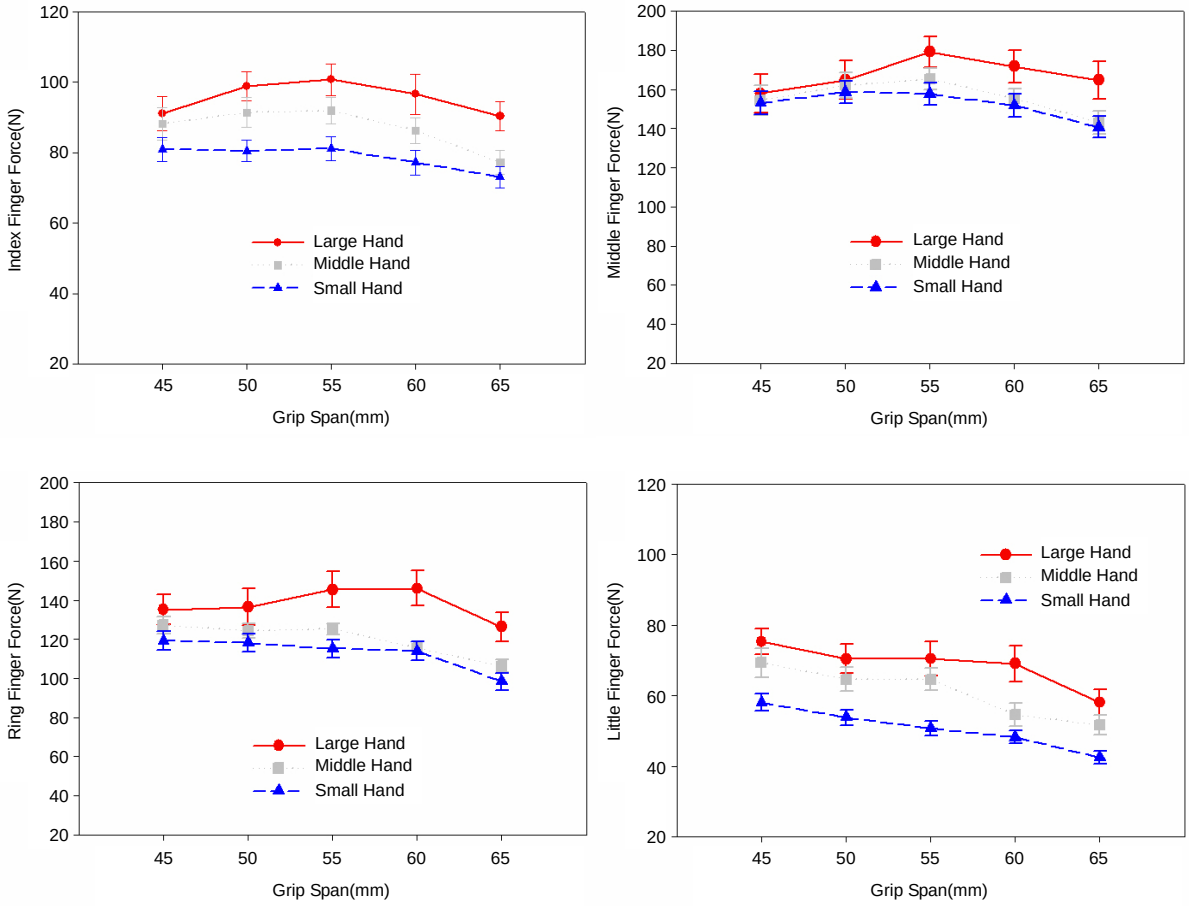

그림 3. 손 크기와 파지 폭에 대한 각 손가락 힘 분석 결과

4. 토 의

파지 폭의 편안함에 대한 주관적 선호도와 악력 평가에서 피실험자들은 50mm~55mm를 가장 선호하며 또한 최대 악력이 나타남을 알 수 있었다. 가장 큰 파지 폭인 65mm는 최소의 악력뿐만 아니라 주관적 선호도 평가에서도 최소로 나타났다. 주관적 선호도와 총 악력과의 관계에 대한 분석에서도 모든 피실험자들의 선호도가 높은 파지 폭들의 총 악력은 선호도가 낮은 파지 폭들의 총 악력보다 높음을 알 수 있었다. 따라서 이 조사에서 주관적 선호도는 총 악력의 결과와 관련있다고 할 수 있겠다.

주관적 선호도와 총 악력 실험에서 손의 크기와 파지 폭 사이의 교호작용이 있음을 알 수 있었다. 작은 손 크기와 중간 손 크기의 사용자들은 50mm~55mm의 폭에서 가장 큰 선호도를, 65mm에 가장 적은 선호도를 나타냈으며 45mm~55mm의 파지 폭에서 최대 약력을, 65mm의 폭에서 최소의 약력을 나타냈다. 큰 손 그룹에서는 약간 큰 폭인 55mm~60mm에서 가장 편안하고, 최소 폭인 45mm에서 가장 불편했다고 평가했다. 손이 큰 그룹은 또한 가장 편안한 크기인 55mm~60mm의 폭에서 최대의 악력을 나타냈다. 결국 작은 손 크기와 중간 손 크기의 집단은 일반적으로 중간이나 작은 파지 폭을 선호했고, 큰 손 그룹은 큰 파지 폭을 선호했다. 따라서 손의 편안함에 대한 주관적 인식에 대한 연구는 최대 악력 결과와 유사한 경향을 보인다고 할 수 있으며, 이러한 결론은 이전의 연구(Eksioglu, 2004)와 비슷한 결과이다.

본 연구에서 분석된 총 악력에 대한 각 손가락들의 힘과 기여도는 기존 연구들과 유사한 결과를 보인다(Hazelton et al., 1975; Ohtsuki, 1981; Amis, 1987; Talsania and Kozin, 1998; Kong and Lowe, 2005a). 즉, 전체 악력에 중지의 기여도가 가장 크고(본 연구에서는 37.5%이였고, 기존 연구에서는 33%~36.2%이었다), 전체 악력에서 소지의 기여도는 가장 적었다(본 연구에서는13.6%이였고, 기존 연구에서는 14%~18%였다). 검지(20.2%)와 약지(28.7%)의 기여도 결과 또한 다른 악력 연구와 비슷한 결과가 나왔다.

전통적인 악력계(Hand grip dynamometer)를 이용한 연구 외에도, 얇은 압력 센서를 손가락 마디에 붙여 최대의 악력과 토크 작업에 대한 각 손가락과 손가락 마디 힘과 기여도를 측정한 연구가 있다(Kong and Lowe, 2005a; 2005b). 이들의 연구 결과 역시 본 연구 결과와 유사함을 보여주었다(검지: 24.7%~24.9%; 중지: 34.8%~35.7%; 약지: 26.5%~28.3%; 소지: 11.3%~13.8%).

파지 폭에 따른 각각의 손가락 힘 사이의 관계를 보자면, 파지 폭이 55mm에서 증가하거나 감소할 때 중지의 힘은 감소한다. 그에 반하여 소지의 힘은 파지 폭이 45mm에서 65mm로 증가할 때 감소하는 현상을 나타냈다. 가장 큰 파지 폭(65mm)에서 네 손가락은 가장 작은 힘을 발휘하였다. 각 손가락 힘의 분석에서 손 크기와 파지 폭의 교호작용의 분석 결과에서는 작은 손과 중간 손 그룹의 피실험자들은 중지와 약지 손가락에 대해 각각 50mm~55mm와 45mm ~50mm에서 최대 악력을 보였으며, 큰 손 피실험자들에 대한 중지와 약지 손가락의 최적의 폭은 55mm~60mm였다. 모든 손 크기의 피실험자들의 소지에 대한 최적의 파지 폭은 45mm와 같거나 작음을 알 수 있었다. 결과에 기초하여, 각 손 크기에 대한 각각의 손가락에 대한 최적의 파지 폭이 다양함을 알 수 있었다. 즉, 쌍손잡이 수공구는 각 손가락에 대한 최적의 파지 폭과 관련하여 디자인되어야 하고, 검지, 중지, 약지의 파지 폭은 소지의 크기보다 크고, 중지의 파지 폭은 약지와 검지보다 다소 커야함을 알 수 있다. 본 연구를 통해 제시되는 손잡이 중앙의 폭이 양끝보다 큰 손잡이의 모양은(bowed contour handle profile)은 기존의 소지로 갈수록 넓어지는 전통적인 'A자 모양(A−shape)'의 손잡이보다 우수할 것으로 생각된다.

본 연구 결과를 통해 펜치(Pliers)나 코킹건(Caulking gun), 페인트용 스프레이건(Spray gun) 등과 같은 쌍손잡이 수공구의 손잡이 디자인에 있어서 각 손가락의 길이를 고려한 Bowed contour handle profile이 보다 효과적임을 제시하였으나, 몇 가지 본 연구 결과 적용에는 한계가 있다고 할 수 있다. 비록 통계적으로 데이터 분석을 하였으나, 피실험자를 손의 크기에 따라 세 그룹으로 나눔으로써 46명의 피실험자 수 중 중간 손과 큰 손에 해당하는 피실험자 수는 각각 12명과 9명으로, 작은 손의 피실험자 결과 분석 수에 비해 다소 미흡함이 있을 수 있겠다. 또한 본 연구에서 사용된 NK 시스템의 손잡이의 모양이 실제의 쌍손잡이 수공구의 손잡이 모양과는 일치하지 않음을 들 수 있다. 즉, NK 시스템의 손잡이는 각 손가락에 해당하는 손잡이의 폭이 일정하여, 상용화되어 있는 쌍손잡이 수공구와는 차이가 있다고 할 수 있다. 그러므로, 향후 연구과제로서 각 손가락별 최대 악력 파지 폭이 서로 다름을 검증하기 위해(그림 3) 그리고 각 손가락이 각기 최적의 파지 폭을 유지했을 경우의 총 악력과 모든 손가락이 같은 파지 폭을 유지했을 경우, 여러 파지 폭들 중 최대 총 악력과의 비교 또한 앞으로의 연구과제라 할 수 있을 것이다.

참고 문헌

Amis, A. A., Variation of finger forces in maximal isometric grasp tests on a range of cylinder diameters, *Journal of Biomedical Engineering*, 9, 313-320, 1987.

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.

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.

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

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

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.

Härkönen, R., Piirtomaa, M. and Alaranta, H., Grip strength and hand position of the dynamometer in 204 Finnish adults, *Journal of Hand Surgery*, 18B, 129-132, 1993.

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, 30-306, 1975.

Kong, Y. K. and Lowe, B. D., Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35, 495 -507, 2005a.

Kong, Y. K. and Lowe, B. D., Evaluation of handle diameters and orientations in a maximum torque task, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35, 1073-1084, 2005b.

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. and Haslegrave C. M., *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics,*

and the Design of Work, 3rd ed., CRC press, Taylor & Francis, 2006.

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*, (pp. 9-13), Santa Monica, CA, 1983.

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.

◐저자 소개 ◑

❖ 정 명 철 ❖ mcjung@ajou.ac.kr
미국 펜실베니아 주립대학교 산업공학과 박사
현 재: 아주대학교 산업정보시스템공학부 조교수
관심분야: 작업관리, 인간공학, 산업안전, 제품개발

❖ 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) : 2007년 08월 01일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2007년 08월 27일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 08월 29일