

수공구 손잡이 형태에 따른 청·노년층의 악력과 손가락 힘 및 편안함 분석

공용구¹ · 손성태² · 김대민² · 정명철³

¹성균관대학교 시스템경영공학과 / ²성균관대학교 산업공학과 / ³아주대학교 산업정보시스템공학부

Grip Force, Finger Force, and Comfort analyses of Young and Old People by Hand Tool Handle Shapes

Yong-Ku Kong¹, Seong-Tae Sohn², Dae-Min Kim², Myung-Chul Jung³

¹Department of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746

²Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746

³Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University, Suwon, 443-749

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate aging (young and old), gender (male and female), and handle shape effects on grip force, finger force, and subjective comfort. Four handle shapes of A, D, I, and V were implemented by a multi-finger force measurement (MFFM) system which was developed to measure every finger force with different grip spans. Forty young (20 males and 20 females) and forty old (20 males and 20 females) subjects participated in twelve gripping tasks and rated their comfort for all handles using a 5-point scale. Grip forces were calculating by summation of all four forces of the index, middle, ring and little fingers. Results showed that young males (283.2N) had larger gripping force than old males (235.6N), while young females (151.4N) had lower force than old females (153.6N). Young subjects exerted the largest gripping force with D-shape due to large contribution of the index and middle fingers and the smallest with A-shape; however, old subjects exerted the largest with I-shape and the smallest with V-shape due to small contribution of the ring and little fingers. As expected, the middle finger had the largest finger force and the little finger had the smallest. The fraction of contribution of index and ring fingers to grip force differed among age groups. Interestingly, young subjects provided larger index finger force than ring finger force, whereas old subjects showed that larger ring finger forces than index finger force in the griping tasks. In the relationship between performance and subjective comfort, I-shape exerting the largest grip force had less comfort than D-shape producing the second largest grip force. The findings of this study can provide guidelines on designing hand tool handle to obtain better performance as well as users' comfort.

Keyword: Grip force, Finger force, Handle shape, Aging, MFFM system

1. 서 론

오랜 기간 수공구는 인간의 미래 문화와 기술의 발전에 중요한 역할을 하였다. 수공구는 처음 돌이나 나무로 만들어 사용하면서부터 꾸준한 발전을 통해, 수 천년 동안 인간의 문화와 활동의 일부가 되었다. 현재 많은 작업장에서 작업자들이 사용하기 편하고, 작업을 보다 효율적으로 할 수 있도록 설계된 수공구를 사용하여 작업을 진행하고 있음에도 불구하고 여전히 많은 작업자들은 수공구 사용으로 인해 근골격계질환에 노출되어 근육, 건 그리고 신경 등에 작업 중 또는 휴식 시에 통증을 호소하고 있다. 이와 같이, 수공구의 빈번한 사용과 함께 적합하지 못한 손목자세, 과도한 힘, 높은 반복성, 마찰 또는 압력 그리고 진동 등으로 인한 사용자의 손 관련 근골격계질환을 발생시킬 수 있기 때문이다.

도구의 발달로 인해 인간의 문화가 발전되고 미래 문화와 기술의 발전으로 인해, 인간의 평균 수명이 점점 늘어나고 있다. 세계보건기구(WHO)의 '세계보건통계'에 따르면 인간의 평균 수명은 고대 그리스(BC 8세기~BC 4세기)에서 19세, 6세기 유럽에선 21세, 11세기에 들어서도 26세에 머물다 20세기에 접어들면서 40~50세로 늘어났고, 현재 선진국에서는 70~80세까지 길어졌다고 한다. 우리나라 통계청(2004)에 따르면 2000년 평균 수명은 75.9세, 2030년에는 81.5세로 선진국 수준에 머무를 것으로 전망한다. 문화와 기술의 발전은 평균 수명 연장뿐 만 아니라 출산율에도 크게 기여하는데, 우리나라의 출산율은 선진국보다 더 낮은 수준인 세계 최저 수준으로 떨어져 홍콩에 이어 세계 2위의 저 출산율 국가로 보고되었다(UN, 2008). 이러한 연간 평균 수명의 연장과 저 출산율은 고령화 사회를 촉진시킨다. 우리나라는 2000년에 고령화 사회에 진입하였으며, 2019년 고령사회를 맞이할 것으로 전망된다(통계청, 2004). 산업체에서는 고령화의 경향이 더욱 심각한 수준이다. 제조업의 경우 2006년 41세 이상의 중년과 고령 인력이 전체 인력의 58~75.7%에 달했다(산업연구원, 2007).

연구자들은 많은 목적으로 악력을 측정하였다. 연구 목적 별로 연구를 정리하자면, 상지 장애 평가를 위한 목적(Blair et al., 1987; Fess, 1995; Swanson et al., 1995), 손 부상자의 작업능력 평가를 위한 목적(Berryhill, 1990; Williams, 1990; Schultz, 1995), 힘의 단계를 결정하기 위한 목적(Chengalur et al., 1990; Stokes et al., 1995; Hamilton et al., 1996), 작업자에게 최적화된 수공구 손잡이 설계를 위한 목적(Grant et al., 1992; Blackwell et al., 1999; Kong and Freivalds, 2003; Kong et al., 2005; Kong and Lowe, 2005a, 2005b; 정명철 등, 2007; 김대민과 공용구, 2008) 등이 있다.

위와 같이 다양한 목적을 가지고 실행된 악력 측정에 대한 연구를 살펴보면 성별(Agnew and Maas, 1982; Crosby et al., 1994; Harth and Vetter, 1994; Robertson et al., 1996), 연령(Fraser and Benteen, 1983; Balogun et al., 1991), 국적(Agnew and Maas, 1982; Fraser and Benteen 1983; Fullwood, 1986; Gilbertson and Barber, 1994; Desrosiers et al., 1995; Backman and Daniels, 1996), 인체측정치수(Schmidt and Towes, 1970) 등과 같은 피실험자 관련 변수들과 자세(Mathiowetz et al., 1984; Kuzala and Vargo, 1992; Mogk, 2006), 악력의 강도(Mogk, 2006), 장비(Kong and Lowe, 2005a; Kim and Kong, 2008), 장비의 파지 폭(Petrofsky et al., 1980; Pheasant and Scriven, 1983; Talsania and Kozin, 1998; Eksioglu, 2004) 등과 같은 악력 측정에 중요한 환경 요인들을 고려하였다.

손의 해부학적 구조에 따르면 손의 뼈는 수근골(carpal bones), 중수골(metacarpal bones), 지골(phalanges)의 총 27개로 구성되어 있으며 손과 전완의 움직임에 관여하는 근육은 손의 쥐기 동작에 관여하는 근육들을 포함하여 외재근(extrinsic)과 내재근(intrinsic) 두 종류의 근육들이 35개가 존재한다. 이처럼 손의 움직임을 위해 수 많은 뼈와 근육들이 존재하지만, 기존의 연구들은 손 전체의 파지 폭이 일정한 일반적인 장비를 사용하여 악력을 조사하였기에 손의 다양하고 복잡한 움직임을 설명하기에는 한계가 있었다. 기존의 이러한 한계를 극복하기 위해 선행 연구(Kim and Kong, 2008)에서 MFFM system을 개발하여 다양한 수공구 손잡이 형태를 표현할 수 있도록 하였고, 악력뿐만 아니라 각 손가락 별 힘을 연구하였으나, 각 손가락이 최대 힘을 발휘할 수 있도록 파지 폭을 변경하는 것이 피실험자에게 생소한 느낌을 제공하여 연구 결과에 다소 영향을 미친 것과 충분한 피실험자의 참여 부족 등의 한계점이 발생하였다.

따라서 본 연구의 목적은 (1) 산업현장에서 쉽게 접할 수 있는 수공구 손잡이들을 형태 별로 분류하여 각 형태에 따른 주관적(주관적 편안함) 및 객관적(악력 및 손가락 힘) 데이터를 분석하고, (2) 고령화로 인해 산업현장에서 크게 증가하는 노년층의 악력을 청년층의 악력과 비교 분석하고자 한다. 끝으로 (3) 악력에 대한 각 손가락의 기여도를 측정하여 선행 연구들과 비교 분석을 하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

본 실험에는 상지에 질환이나 질병이 없는 20~35세의 건강한 대학생 및 대학원생 청년층 남녀 각각 20명씩 40명

과 직장인 50~65세의 노년층 남녀 각각 20명씩 40명으로 총 80명이 참여하였다. 실험에 참가한 피실험자들의 정보는 표 1과 같다.

표 1. 피실험자 인체측정치(평균 ± 표준편차)

측정 변수	남자		여자	
	청년층	노년층	청년층	노년층
나이(세)	23.5±2.8	59.7±3.8	21.1±1.4	58.3±4.9
키(cm)	176.5±4.3	168.5±4.7	162.2±4.8	157.0±6.0
몸무게(kg)	73.3±8.9	68.1±8.0	51.3±4.0	55.7±8.1
손 길이(mm)	18.5±0.7	18.2±0.9	17.0±0.7	16.8±0.8
손 너비(mm)	8.3±0.4	8.5±0.4	7.4±0.2	7.6±0.4
손목 둘레(mm)	16.0±2.7	17.5±0.6	14.3±2.2	15.7±0.9
손바닥 길이(mm)	10.6±0.5	10.6±0.5	9.8±0.4	9.6±0.5
손가락 길이(mm)	7.8±0.6	7.6±0.5	7.1±0.5	7.2±0.5

2.2 실험장비

본 연구는 악력 측정 시 사용자 손의 크기와 각 손가락의 인체측정치 자료를 고려할 수 있도록 개발한 장비로, 악력 뿐만 아니라 각 손가락 별 힘을 측정할 수 있는 MFFM (multi-finger force measurement system)을 사용하였다 (Kim and Kong, 2008).

현 공구상가에서 판매되고 있는 수공구 50개를 조사하여 손잡이 모양을 크게 A, D, I, V의 4가지 형태로 분류하였으며, 각 손잡이 형태에 따라 해당 손가락 별 파지 폭의 범위를 45~60mm로 그림 1과 같이 각각 조정하였다.

MFFM system을 통해 수집된 악력 데이터는 컴퓨터 제어·계측 시스템에 많이 사용되고 있는 LabVIEW 8.5를 사용하여 데이터를 실시간으로 저장하였다.

2.3 실험절차

실험을 시작하기 전에 피실험자에게 실험의 목적과 내용을 설명하여 실험의 동의를 얻고, 인적 사항을 기입한 뒤, 손 길이, 손 너비, 손목 둘레, 손바닥 길이, 손가락 길이를 측정하였다. 피실험자는 의자에 정자세로 앉고, 팔꿈치는 90°로, 손목은 0°로 유지하여 각 손잡이 별로 최대 악력을 측정하였으며, 모든 실험을 동일한 조건에서 실시하도록 하였다.

각 형태의 손잡이를 최대의 힘으로 쥐는 실험을 3번 반복하였다. 즉, 피실험자는 총 12회의 실험을 실시하였고, 반복과 반복 사이에는 2분간 휴식을 취하였다. 실험 후, 각 손잡이에 대해 5점 척도(5: 매우 편안함)로 주관적 편안함을 평

가하였다. 각 실험의 순서는 피로로 인한 효과와 학습의 효과를 줄이기 위해 모두 랜덤으로 실시하였다.

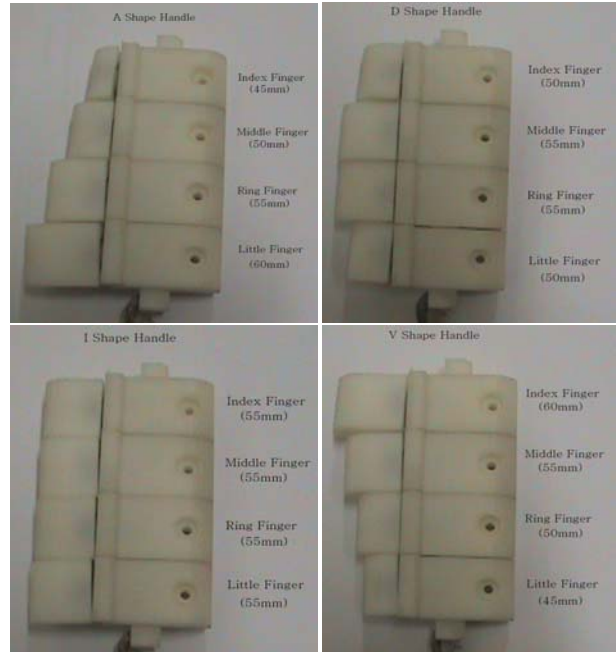


그림 1. 손잡이의 4가지 형태와 각 손가락 별 파지 폭

2.4 실험계획

MFFM system을 이용하여 A, D, I, V의 손잡이 형태에 따라 피실험자가 최대 발휘할 수 있는 악력과 각 손가락의 힘을 측정하기 위하여 독립변수로 연령층(2수준: 청년층, 노년층), 성별(2수준: 남, 여), 손잡이 형태(4수준: A, D, I, V 형태)를 선정하였다. 연령층과 성별은 Between-subject variable로, 손잡이의 형태는 Within-subject variable로 지정하였다. 종속변수는 악력, 손가락 별 힘, 주관적 편안함이며, 악력은 각 손가락이 발휘한 힘들의 합으로 계산하였다. 통계 분석은 SAS를 사용하였으며, 종속변수의 기술적 통계치인 평균과 표준편차를 구하고, 분산 분석($\alpha=0.05$)을 실시하였다.

3. 연구 결과

3.1 악력

유의수준 0.05에서 악력을 대상으로 분산 분석을 실시한 결과, 주효과로서는 연령, 성별, 그리고 손잡이 형태가 통계적으로 유의하였으며, 교호작용으로는 연령×성별과 연령×

손잡이 형태가 통계적으로 유의함을 보였다.

연령에 따른 악력을 보면, 노년층의 악력은 193.5N으로 청년층의 악력 217.6N의 약 88.9%로 나타났으며, 성별에 따른 악력 또한 예상대로 남성과 여성간에 차이가 있었다. 남성의 악력은 259.4N인 반면, 여성 악력은 52.5N으로 남성 악력의 58.8% 정도로 나타났다.

연령과 성별에 따른 악력의 교호작용 또한 통계적으로 유의한 결과를 보여주었는데, 청년층 남성의 악력은 283.2N으로 노년층 남성의 악력 235.6N보다 높게 나타난 반면, 여성의 경우는 청년층이(151.4N), 노년층(153.6N)과 비슷하거나 다소 낮게 나타났다(그림 2).

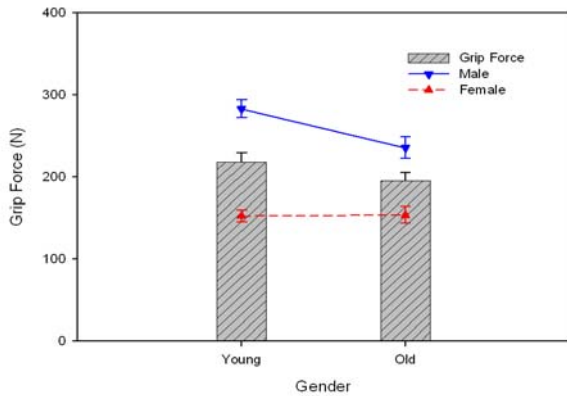


그림 2. 연령과 성별에 따른 악력

손잡이 형태에 따른 악력의 분석을 보면, 통계적으로 유의하였다. Tukey test 결과, I 형태가 하나의 그룹, 그리고 A, D, V 형태가 하나의 그룹을 형성하였다. 이 중 I 형태(216.0N)가 가장 큰 악력을 발휘하였고, 그 다음으로 D 형태와 A 형태(각각 210.0N과 200.2N) 순이었다. V 형태의 악력은 197.5N으로 가장 낮은 악력을 발휘하였다. 연령과 손잡이 형태에 따른 악력의 교호작용 또한 차이가 유의

하였다($p < 0.001$). Tukey test 결과 청년층은 D, I, V 형태와 A 형태로 두 그룹이 형성되었고, 노년층은 A, D, I 형태와 V 형태 두 그룹이 형성되었다. 즉, 일반적으로 청년층은 D 형태에서 226.6N으로 가장 큰 힘을 발휘하였고 A 형태에서 201.8N으로 가장 낮은 힘을 발휘한 반면, 노년층은 I 형태에서 207.3N으로 가장 큰 힘을 발휘하였고, V 형태에서 178.9N으로 가장 작은 힘을 발휘하였다(그림 3).

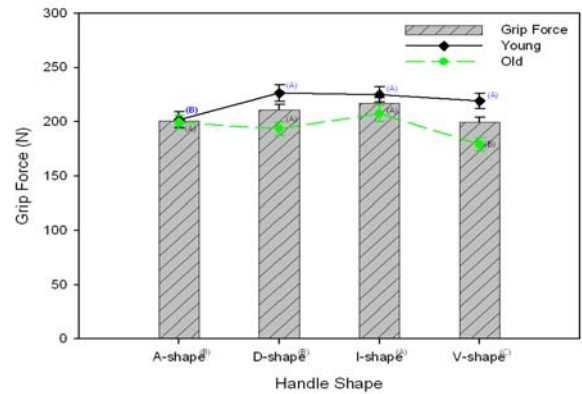


그림 3. 손잡이 형태에 따른 악력

3.2 손가락 별 힘

손잡이 형태와 연령층에 따른 각 손가락의 힘을 분석하였다. 분석 결과 손가락의 힘은 모두 손잡이의 형태에 따라 통계적으로 유의하였고($p < 0.05$), 연령층에 대해서는 약지($p = 0.59$)와 소지($p = 0.26$)를 제외한 검지와 중지의 손가락의 힘이 연령에 따라 통계적으로 유의하였다. 표 2는 연령층과 손잡이 형태에 따른 각 손가락 힘과 악력에 기여하는 정도를 보여주며, 각 열의 A, B, C 기호는 Tukey test 결과를 나타낸다.

먼저 청년층의 경우, 기존 연구들의 결과와 같이 중지

표 2. 손가락 별 힘의 평균±표준편차와 악력에 대한 기여도(%)

형태	청년층					노년층				
	악력	검지	중지	약지	소지	악력	검지	중지	약지	소지
A	202.2±81.8	51.3±21.6 ^B (25.4)	64.0±32.8 ^B (31.7)	52.6±22.6 ^A (26.0)	34.3±15.8 ^A (16.9)	199.6±67.6	44.1±23.9 ^A (22.1)	57.5±24.9 ^A (28.8)	59.6±19.9 ^A (29.9)	38.4±18.0 ^A (19.2)
D	227.5±83.9	64.3±27.5 ^A (28.3)	77.5±31.1 ^A (34.1)	55.3±20.6 ^A (24.3)	30.4±14.4 ^A (13.4)	193.5±68.2	43.3±19.6 ^A (22.3)	61.3±29.6 ^A (31.7)	56.5±18.1 ^A (29.0)	32.8±14.4 ^{AB} (17.0)
I	224.7±79.0	68.7±30.4 ^A (30.6)	69.7±28.5 ^{AB} (31.0)	53.2±18.9 ^A (23.7)	33.1±13.3 ^A (14.7)	201.7±82.1	43.3±19.6 ^A (21.5)	65.8±30.0 ^A (32.6)	56.5±21.1 ^A (28.0)	36.1±17.2 ^B (17.9)
V	216.0±78.8	68.5±31.9 ^A (31.7)	72.8±27.7 ^{AB} (33.7)	49.8±20.7 ^A (23.1)	24.8±12.9 ^B (11.5)	179.3±62.3	45.7±21.1 ^A (25.5)	62.7±28.9 ^A (34.9)	44.7±15.2 ^B (25.0)	26.2±13.3 ^C (14.6)
평균	217.6	63.2 (29.1)	71.0 (32.6)	52.7 (24.2)	30.6 (14.1)	193.5	44.1 (22.8)	61.8 (31.9)	54.2 (28.0)	33.4 (17.2)

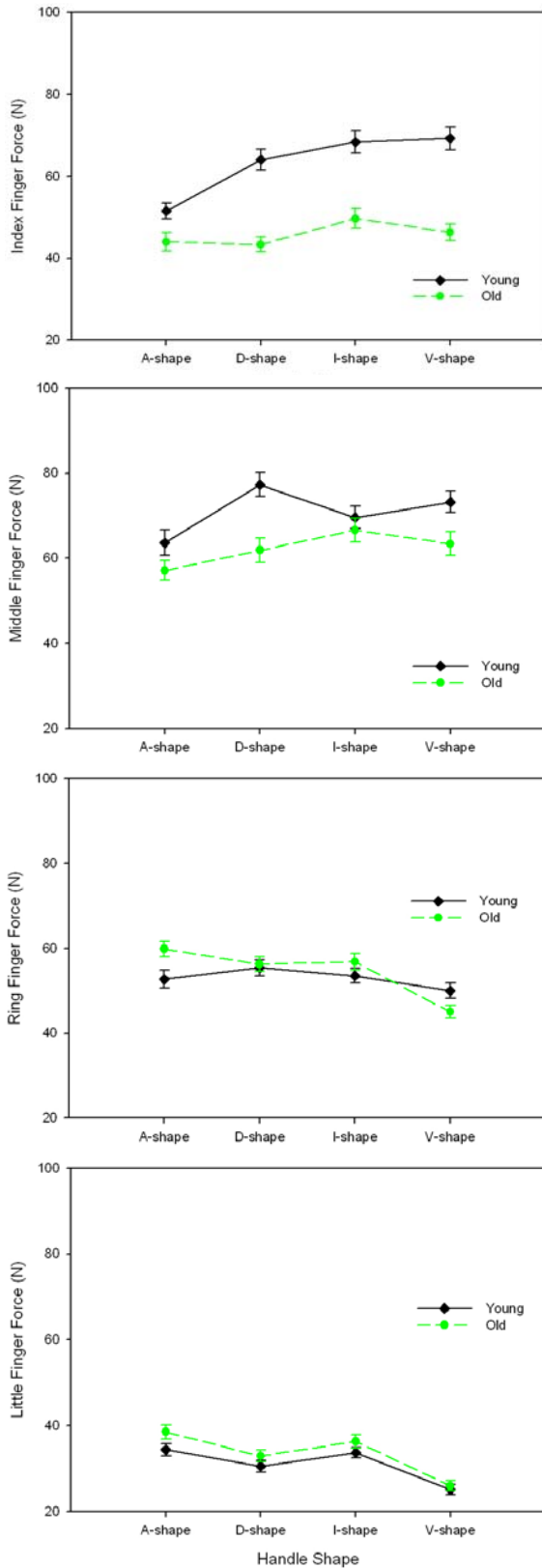


그림 4. 연령과 손잡이 형태에 대한 손가락 별 힘

악력에 가장 높은 기여(71.0N, 32.6%)를 하며, 이어 검지, 약지 순이고, 소지가 악력에 가장 낮게 기여(30.6N, 14.1%) 하는 것으로 나타났다. Tukey test 결과, 검지와 중지는 D, I, V 형태에서 악력에 가장 크게 기여하고, 약지는 손잡이 형태에 따라 차이가 없으며, 소지는 V 형태에서 가장 적게 기여하고 있다.

노년층의 경우 역시 중지가 악력에 가장 큰 기여(61.8N, 31.9%)를 하는 반면, 소지는 악력에 가장 작게 기여(33.4N, 17.2%)하고 있었다. 다만, 검지와 약지는 청년층과 다른 경향을 보여주고 있는데, 검지보다 약지 힘이 더 큰 것을 알 수 있었다. 또한 노년층의 경우 검지와 중지는 손잡이의 형태에 따라 큰 차이가 없으나, 약지는 V 형태에서 가장 적게 기여하는 것으로 나타났으며, 소지는 A와 D 형태에서 크게 기여하였고, V 형태에서 가장 적게 기여하였다.

연령층에 따라 각 손가락 별 힘을 비교하면, 노년층의 약지와 소지 힘은 손잡이 형태에 따라 청년층과 차이가 없었으나, 노년층의 검지와 중지는 청년층에 비해 낮은 손가락 힘을 보여주었다. 그림 4는 연령층과 손잡이 형태에 대한 각 손가락 별 힘을 분석한 결과를 보여주고 있다. 청년층의 검지와 중지는 모든 손잡이 형태에서 노년층보다 큰 힘을 발휘하였으나, 약지와 소지의 힘은 연령과 관계없이 통계적으로 유의하지 않았다.

3.3 주관적 편안함

악력을 3번 반복 측정된 뒤, 악력을 발휘할 때 편안함의 정도에 대해 5점 척도(5점: 매우 편안)를 이용하여 평가를 한 결과, 손잡이 형태가 통계적으로 유효한 것으로 나타났다($p < 0.05$). 즉, 성별과 연령에 상관없이 피실험자들은 전반적으로 D 형태의 손잡이를 가장 선호하였으며, 다음으로 I와 V 형태 순이었으며, 대체적으로 A 형태의 선호도는

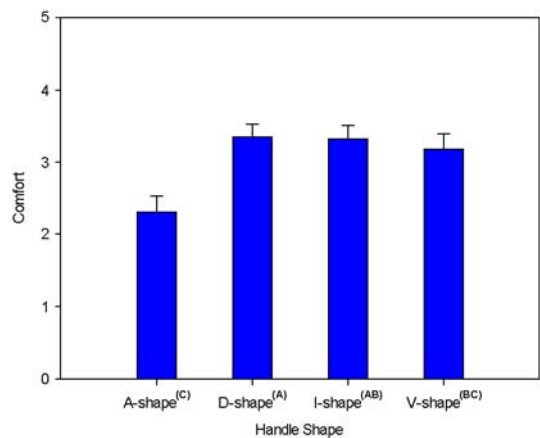


그림 5. 손잡이 형태에 따른 주관적 편안함

가장 낮게 나타났다. 그림 5는 손잡이 형태별 주관적 편안함에 대한 Tukey test 결과를 보여준다.

4. 토의 및 결론

본 연구를 통해 악력은 연령과 성별, 연령과 손잡이 형태에 따른 교호작용이 있음을 알 수 있었다. 즉, 연령과 성별에 따라 청년층의 남자가 가장 큰 힘(283.2N)을 발휘하고 청년층의 여자가 가장 적은 힘(153.6N)을 발휘함을 알 수 있었다. 이는 이동준과 장규표(1997)와 Harward and Griffin(2002)의 연구와 유사한 결과를 나타내는데, 남자의 경우 젊을수록 근육 운동이 활발하고 근섬유의 단면적이 넓어 큰 힘을 발휘하지만 나이가 들수록 근섬유 위축으로 힘이 감소하는 반면, 여자는 연령이 증가함에 따라 가사 노동이나 현장 노동으로 인해 근력이 증가하는 것으로 해석된다.

또한, 각 연령층은 손잡이 형태에 따라 악력의 차이가 유의함을 알 수 있었다. 청년층은 D 형태에서 가장 큰 힘(227.5N)을 발휘하였으며, A 형태에서 가장 적은 힘(202.2N)을 발휘하였다. 그러나 노년층은 I 형태에서 가장 큰 힘(201.7N)을 발휘하였으며, V 형태에서 가장 적은 힘(179.3N)을 발휘하였다. 이는 각 손가락 힘의 분포를 봤을 때, 청년층의 검지와 중지가 악력에 대한 기여와 연관이 있는데, D 형태의 경우 검지와 중지가 모두 악력에 많이 기여하였으나, A 형태의 경우에는 검지와 중지의 기여도가 약지와 소지의 기여도에 비해 상대적으로 작아졌다. 반면, 노년층은 검지와 중지의 악력에 대한 기여도가 손잡이 형태에 따라 통계적 차이가 없어 손잡이 형태별 악력에 영향을 주지 않지만, V 형태는 다른 손잡이 형태와 비교하여 상대적으로 약지와 소지의 기여도가 작아 악력이 가장 작게 나타났다.

본 연구에서 분석된 악력에 대한 청년층과 노년층의 중지와 소지에서 발생하는 힘과 기여도는 기존 연구들의 결과와 같이 중지가 가장 큰 힘과 기여도를, 소지가 가장 적은 힘과 기여도를 나타냈다. 하지만, 검지와 약지의 힘과 기여도는 청년층과 노년층에서 서로 다르게 나타났는데 기존 연구에서 검지와 약지의 힘은 측정 장비와 측정 방법 등에 따라 힘의 크기 순서가 다른 것처럼 본 연구에서는 연령층에 따라 다르게 나타났다. 청년층의 경우 검지의 힘이 약지의 힘보다 더 크게 나타났는데 이는 기존 연구(Ketchum et al., 1978; Amis, 1987; Lee and Rim, 1990; Radhakrishnan and Nagaravindra, 1993; Kong and Freivalds, 2003, Kong et al., 2005)와 유사한 결과를 보이고 있다. 그러나 노년층의 경우에는 약지의 힘이 검지의 힘보다 세게 나타났는데, 이는 기존 연구들 중 노년층을 대상으로 각 손가락

별 힘과 악력에 대한 기여도를 연구한 논문들의 부재로 직접적인 비교를 할 수 없었다. 다만 노년층의 검지와 중지 힘이 청년층에 비해 현저히 감소한 것은 노령화로 인해 큰 힘을 발휘하는 검지와 중지의 근력의 지속적인 사용으로 인해 근력 저하의 결과가 나타난 것으로 설명하고자 한다.

손잡이 형태의 편안함에 대한 주관적 평가에서 피실험자들은 D 형태를 가장 편하게 생각하였다. 그러나 노년층의 경우 악력은 I 형태에서 가장 크게 발휘된 것으로 보아, 주관적 평가 결과가 높게 나타났다고 하여 악력 또한 높게 나타나는 것은 아니었다. 그림 6과 같이 손잡이 형태에 따라 악력과 주관적 편안함의 관계를 분석한 결과 일관성이 높다고 볼 수 없었다. 예를 들어, D와 I 형태를 비교하였을 경우, I 형태가 D 형태 보다 악력이 컸으나, 주관적 편안함은 오히려 D 형태가 높았다. A와 V 형태도 마찬가지로, 악력은 A 형태가 높으나 주관적 편안함은 V 형태가 높았다. 이와 같은 악력과 주관적 평가간의 관계가 정확히 일치하지 않는 경향은 Kim and Kong(2008)의 연구 결과에서도 나타났다.

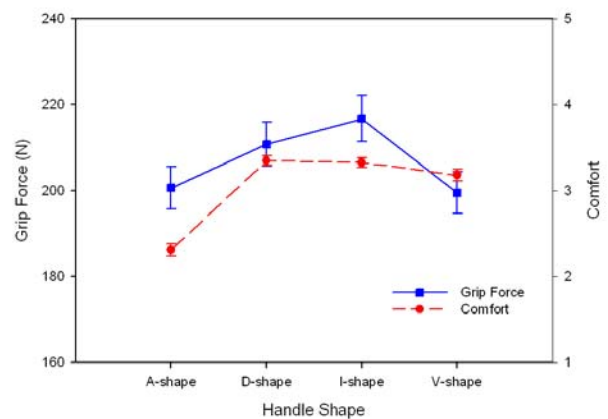


그림 6. 손잡이 형태에 따른 악력과 주관적 편안함

본 연구는 자체 개발한 MFFM system을 이용하여 연령별, 성별, 손잡이 형태별 악력과 손가락 힘, 그리고 주관적 편안함을 평가하였다. 본 연구에서 보았듯이 MFFM system의 장점으로는 손가락 별로 서로 다른 길이(grip span)를 사용할 수 있어 다양한 형태의 손잡이를 구현할 수 있다. 추후 손잡이 너비(handle width)와 길이(handle length) 등도 변경이 가능한 시스템으로 보완하여 상업용 수공구와 유사한 손잡이 형태를 구현하고, 수공구의 작동 원리를 적용하여 보다 현실적인 인간공학적인 수공구 손잡이를 제안할 수 있는 연구가 필요하다고 할 수 있다. 또한, 앞으로 악력 및 손가락 힘과 같은 객관적 척도와 편안함과 같은 주관적 척도간의 관계를 보다 심도 있게 파악하고 연구하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-D160700-D00702).

참고 문헌

김대민, 공용구, MFFM System을 이용한 손가락 별 파지 폭들의 변화에 따른 악력 및 개인 선호도에 대한 연구, 대한인간공학회지, 27(3), 1-6, 2008.

산업연구원, 산업경제정보, 2007.

세계보건기구(WHO), 세계보건기구 통계 시스템(WHOSIS) UN, 세계인구현황보고서, 2008.

이동춘, 장규표, 한국성인의 악력특성분석에 관한 연구, 대한인간공학회지, 16(1), 73-83, 1997.

정명철, 김대민, 공용구, 파지 폭과 손 크기에 따른 각 손가락이 총 악력에 미치는 영향 분석, 대한인간공학회지, 26(3), 1-7, 2007.

통계청, 기초통계조사, 2004.

Agnew, P. J. and Maas, F., Hand function related to age and sex. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 63, 269-271, 1982.

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

Backman, C. and Daniels, L., A description of grip and pinch strength in children aged 6-11 years using the Martin Vigorimeter. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 63, 234-244, 1996.

Balogun, J. A., Akinloye, A. A. and Adenlola, S. A., Grip strength as a function of age, height, body weight and Quetelet index. *Physiotherapy Theory and Practice*, 7, 111-119, 1991.

Berryhill, H., Returning the worker with an upper extremity injury to industry: A model for the physician and therapist. *Journal of Hand Therapy*, 3, 56-63, 1990.

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.

Blair, S. J., McCormick, E., Bear-Lehman, J., Fess, E. E. and Rader, E., Evaluation of impairment of the upper extremity. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 221, 42-58, 1987.

Chengalur, S. N., Smith, G. A., Nelson, R. C. and Sadoff, A. M., Assessing sincerity of effort in maximal grip strength tests. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 69, 148-153, 1990.

Crosby, C. A., Wehbe, M. A. and Mawr, B., Hand strength: Normative values. *Journal of Hand Surgery*, 19A, 665-670, 1994.

Desrosiers, J., Bravo, G., Hmbert, R. and Dutil, E., Normative data for grip strength of elderly men and women. *American Journal of Occupational Therapy*, 49, 637-644, 1995.

Eksioglu, M., Relative optimum grip span as a function of hand Anthropometry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 12, 219-230, 2004.

Fess, E. E., Documentation: *Essential elements of an upper extremity assessment battery*. Rehabilitation of the hand: Surgery and therapy 4th ed., 1, 185-214, St Louis: Mosby, 1995.

Fraser, C. J. and Bente, J., A study of adult hand strength. *British Journal of Occupational Therapy*, 46, 296-299, 1983.

Fullwood, D., Australian norms for hand and finger strength of boys and girls aged 5-12 years. *Australian Occupational Therapy Journal*, 33, 26-36, 1986.

Gilbertson, L. and Barber S., Power and pinch grip strength recorded using the hand-held Jamar dynamometer and B+L hydraulic pinch gauge: British normative data for adults. *British Journal of Occupational Therapy*, 57, 483-488, 1994.

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.

Harth, A. and Vetter, W. R., Grip and pinch strength among selected adult occupational groups. *Occupational Therapy International*, 1, 13-28, 1994.

Hamilton, A., Balnave, R. and Adams, R., Grip strength as a measure of sincerity of effort in occupational rehabilitation. *Journal of Occupational Health and Safety: Australia and New Zealand*, 12, 547-556, 1996.

Harward, B. M. and Griffin, M. J., Repeatability of grip strength and dexterity tests and the effects of age and gender. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 75, 111-119, 2002.

Ketchum, L. D., Thompson, D. G., Pocock, G. D., La, C. and Wallingford, D., A clinical study of forces generated by the intrinsic muscles of the index finger and the extrinsic flexor and extensor muscles of the hand. *The Journal Hand of Surgery*, 3(6), 571-578, 1978.

Kim, D. M. and Kong, Y. K., Development of an Adjustable Multi-Finger Force Measurement (MFFM) System for research on hand tool-related musculoskeletal disorders. *Applied Human Factors and Ergonomics 2nd international conference*, Las Vegas, 14-17 July, 2008.

Kong, Y. K. and Freivalds, A., Evaluation of meat-hoot handle shapes. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 32, 13-23, 2003.

Kong, Y. K., Freivalds, A. and Kim, S.E., Evaluation of hook handles in a pulling task. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 11(3), 303-313, 2005.

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.

Kuzala, E. A. and Vargo, M. C., The relationship between elbow position and grip strength. *American Journal of Occupational Therapy*, 509-512, 1992.

Lee, J. W. and Rim, K., Maximum finger force prediction using a planar simulation of the middle finger. *Proceedings Institute Mechanical*

- Engineers*, 204, 169-178, 1990.
- Mathiowetz, V. K., Weber, K. G., Volland, G. K. and Kashman, N., Reliability and validity of grip and pinch strength evaluations. *Journal of Hand Surgery*, 9A, 222-226, 1984.
- Mogk, J. and Keir, P., Prediction of forearm muscle activity during gripping. *Ergonomics*, 49(11), 1121-1130, 2006.
- 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, Santa Monica, CA, 1983.
- Radhakrishnan, S. and Nagaravindra, M., Analysis of hand forces in health and disease during maximum isometric grasping of cylinders. *Medicine and Biological Engineering and Computing*, 31, 372-376, 1993.
- Robertson, L. D., Mullinax, C. M., Brodowicz, G. R. and Swafford, A. R., Muscular fatigue patterning in power grip assessment. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 6, 71-85, 1996.
- Schmidt, R. T. and Toews, J. V., Grip strength as measured by the Jamar dynamometer. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 51, 321-327, 1970.
- Schultz, K., Upper extremity functional capacity evaluation. In J. M. Hunter, E. J. Mackin, and A. D. Callahan (Eds). *Rehabilitation of the hand: Surgery and therapy* 4th ed., 2, 1739-1774. 1995.
- Stokes, H. M., Landrieu, K. W., Domangue, B. and Kunen, S., Identification of low-effort patients through dynamometry. *Journal of Hand Surgery*, 20A, 1047-1056, 1995.
- Swanson, A. B., Hagert, C. G. and Swanson, G. D., Evaluation of impairment of hand function. In J. M. Hunter, E. J. Mackin and A. D. Callahan (eds), *Rehabilitation of the hand: Surgery and therapy* 4th ed, 2, 1839-1896, St Louis: Mosby, 1995.
- 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.

- Williams, K. A., Functional capacity evaluation of the upper extremity. *Work*, 1, 48-64, 1990.

● 저자 소개 ●

- ❖ 공 용 구 ❖ ykong@skku.edu
미국 펜실베이니아 주립대학교 산업공학과 박사
현 재: 성균관대학교 시스템경영공학과 조교수
관심분야: 인간공학적 제품 디자인 및 평가, 근골격계질환 예방 및 분석
- ❖ 손 성 태 ❖ stsohn37@hotmail.com
남서울대학교 산업공학과 학사
현 재: 성균관대학교 산업공학과 석사과정
관심분야: 인간공학적 제품 디자인 및 평가, 근골격계질환 예방 및 분석
- ❖ 김 대 민 ❖ kimdaemin@skku.edu
성균관대학교 산업공학과 석사
현 재: 성균관대학교 산업공학과 박사과정
관심분야: 인간공학적 제품 디자인 및 평가, 근골격계질환 예방 및 분석
- ❖ 정 명 철 ❖ mcjung@ajou.ac.kr
미국 펜실베이니아 주립대학교 산업공학과 박사
현 재: 아주대학교 산업정보시스템공학부 조교수
관심분야: 작업설계, 인간공학, 제품개발

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2009년 02월 20일

논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2009년 03월 31일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2009년 05월 04일