Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.21, No.4, pp.67-84, December 2002

손목 비틈 작업시 한국 여성들의 연령대별 토크에 관한 연구

A Study on Wrist-Twisting Torque for Korean Females

손병창*, 신승헌**

ABSTRACT

The present study investigates the maximum and preferred torques of Korean women in wrist operations. A total of 227 women in 20s to 80s participated in the study. The maximum and preferred torques were measured for the combinations of three grip diameters(28, 40, and 66mm) and two twisting directions(clockwise and counterclockwise). The women in 30s showed significantly higher maximum torques; a rapid decline was observed in maximum torque for the women aged 70 years or older. Grip diameter and twisting direction had a large effect on torque production. No significant difference was observed in the preferred torque among the women in 20s to 60s. The ratio of the maximum to preferred torques was not significantly different among the participants in different age groups. Compared to the maximum torque, the preferred torque was 65% for the counterclockwise direction and 68% for the clockwise direction. Standardized regression analysis indicated that the twisting torque was mainly determined by grip diameter, maximum grip force, and age in descending order.

Keyword: Wrist-Twisting, Maximum torque, Preferred torque, Korean Females

* 계명대학교 대학원 산업공학과
주소 : 704-701 대구시 달서구 신당동 1000번지
전화 : 053-580-5924
E-mail : bcson@jinri.keimyung.ac.kr
** 계명대학교 기계·자동차 공학부

1. 서 론

최근 산업이 고도로 발달하고 생활 수준이 향상되면서 산업에 필요한 각종 설계와 일상생활에 필요한 도구의 설계가 인간의 편의성과 기능을 최대화하기 위한 관점에서 이루어지고 있다. 이러한 추세에 의해 다양한 인체 측정 자료의 필요성이 증대되고 있다. 우리나라의 경우 1979년부터 1997년까지 4차례에 걸친 "국민표준체위조사"를 실시하여 관련 산업체에 자료를 제공하고 있고, 이와 관련한 다수의 연구들이 수행되고 있다. 이러한 인체 측정 자료는 제품의 설계에 있어서 반드시 필요한 기초 자료일 뿐만 아니라 공산품의 규격을 제정하는데 있어서도 중요하다. 그러나, 곽원모 등(1998)에 의하면 국내의 인체 측정 자료는 실제 제품을 제작하는 데 필요한 자료의 유형과 자료의 부족으로 인해 대부분의 디자이너들은 선진 외국의 측정 자료를 인용하고 있는 실정이며, 이로 인해 한국인에게 적합한 제품을 설계하는 데 있어서 많은 어려움을 겪고 있다고 한다. 김진호 등(1995)의 연구에서도 국내의 인체 측정 자료가 의류와 가구의 규격화에는 활용도가 높지만, 기능성 등에 대한 조사 부족으로 그 외의 산업에서는 활용성이 낮다고 하였다. 1997년에 실시한 "국민표준체위조사"의 측정 항목은 120개였는데, 모든 항목이 인체의 기본적인 크기(길이, 두께, 폭)의 측정에 치중되어 있고, 동작의 범위, 시야의 범위, 근력 등은 배제되어 개선되어야 할 사항으로 생각된다. 외국의 경우에도 정부 기관의 주도와 민간 차원에서 인체 측정이 수행되고 있지만(Aerospace Medical Research Lab., 1978; Gorden, 1988; Grandjean, 1988), 기능성에 대한 측정은 민간 주도로 수행되고 있어서 측정 자료의 이용에 한계가 있는 것이 현실이다.

특히, 근력은 산업 현장뿐만 아니라 일상생활에서도 육체적인 힘을 필요로 하고 있어 다수의 연구가 수행되어 왔다. 근력에 대한 객관적인 측정 자료는 인간의 육체적 능력에 적합한 도구와 작업 설계에 이용할 수 있고, 재활 공학의 영역에서 질환과 장애 등으로 정상적인 근력을 발휘하지 못하는 자의 신체적 능력을 파악하기 위한 기준으로도 활용이 가능하다(김도연 등, 1994). 그러나, 현재까지 근력과 관련된 다수의 연구들은 개인이 발휘하는 최대 근력의 측정과 같은 물리적인 내용에 중점을 두고 있으며(김진호 등, 1990; Pheasant and O′neil, 1975; Fransson and Winkel, 1991; Freund et al., 2002), 이것이 기준이 되어 도구와 작업 설계에 활용되고 있다. 그러나 최근 제품 설계 분야에서는 인간이 가진 기능의 효율적 향상과 함께 사용 편의성에 중점을 두고 있어, 인간이 선호하는 근력에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

본 연구에서는 손목 비틈 작업에서 발휘되는 토크에 관하여 연구를 수행하려고 한다. 손목 비틈 작업은 물체를 잡고 비트는 것으로 드라이버 등과 같은 공구의 조작과, 배관에 부착된 밸브를 열고 닫는 동작, 일상생활에서도 문을 열기 위해 손잡이를 비틀거나, 가공식품의 마개를 개봉하는 동작 등에서 찾아볼 수 있다. 그러나 이와 관련한 국내의 자료는

쉽게 찾을 수 없으며, 국외의 연구로 고령자들을 대상으로 가공식품을 개봉할 때의 토크에 대한 연구(Imrhan and Loo, 1988; Bordett et al. 1988), 물체의 모양, 연령, 장갑의 종류에 따른 토크를 비교한 연구(Shih and Wang, 1996; Voorbij and Steenbekkers, 2002) 등이 있으며, 이와 유사한 연구로 손목 관절의 위치에 따라 잡는 힘의 크기를 비교한 연구(Hallbeck and McMullin, 1993)가 있다. 그러나, 이들의 연구 결과는 체격 조건과 생활 풍습이 외국인들을 대상으로 한 것이어서 한국인에게 그 결과를 적용하기에는 다소의 어려움이 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 한국 여성들을 대상으로 손목 비틈 작업에서 발휘되는 최대 근력(최대 토크)를 조사하고, 부담을 갖지 않고 대상물을 조작하기에 적합한 근력(선호 토크)에 대한 연구를 수행하려고 한다. 대상을 여성으로 한 것은 남성에 비하여 상대적으로 힘이 약한 집단으로 생각해서이다. 또한 토크에 영향을 미치는 변수들의 상관 관계를 규명하고, 이들 변수가 토크에 미치는 영향을 검토하려고 한다.

2. 토크의 구성 요소

Pheasant and O′neil (1975)과 Imrhan et al. (1988)의 연구에 의하면 물체를 잡고 비틀 때의 토크(T)는 잡는 힘(g_i), 물체의 지름(D), 마찰계수(μ), 형태 및 재질 등에 따라 다르게 나타난다고 하였다. 그림 1은 물체를 잡고 비틀 때의 토크와 힘의 성분을 나타낸 것이다. G는 물체의 표면에서 중심으로 향하는 각 성분의 힘 g_i의 합이며, 물체의 표면 상태와 지름, 표면적에 따라서 차이가 발생한다. 또한 이것은 손에서의 굴근(屈筋)과 관절의 역학적 작용이므로, 굴근과 관절의 해부학적 차이에 의해서도 발휘되는 힘이 다르다(Armstrong, 1986). 마찰계수 μ는 물체의 표면 상태(거칠기)와 재료(금속제, 플라스틱 등) 등에 의해 변하게 된다.

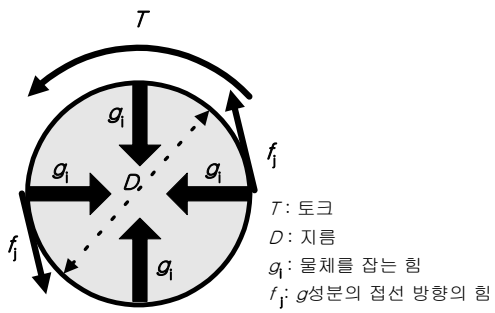


그림 1. 토크 발생의 요소

그림 1의 g_i는 손가락과 손바닥 면의 일부가 물체를 잡고 누르는 힘이며, 잡기 위해 사용되는 손가락의 수와 잡는 손의 형태에 영향을 받는다. Freund et al. (2002)은 잡는 힘에서 각 손가락 조합의 기여도를 조사하였는데, 제 1지와 2지의 조합이 전체 잡는 힘에 기여하는 바가 컸으며, 제 1지와 5지의 조합에 의한 잡는 힘이 가장 작다고 하였다. G를 물체를 잡는 힘 g의 합이라 하면 식 (1)과 같이 표현할 수 있고, g_i의 접선 방향의 힘 f_j의 합을 F라 하면, F와 G는 식

(2)의 관계가 성립한다.

$$G=\sum g_i \quad i = 1, 2, 3, 4 \qquad (1)$$

1 : 제 1지와 2지의 조합
2 : 제 1지와 2, 3(지)의 조합
3 : 제 1지와 2, 3, 4(지)의 조합
4 : 제 1지와 2, 3, 4, 5(지)의 조합

$$F = \mu G = \mu \sum g_i \qquad (2)$$

Ayoub and Presti (1971), Amis (1987), An et al. (1979), An et al. (1980), Freund et al. (2002)에 의하면 잡는 힘은 물체의 지름(D)과 손의 크기(h)와 관계가 있다고 하였다. 즉, 물체의 지름과 손의 크기에 따라서 물체와 손의 접촉 면적이 달라지기 때문이다. 그러므로 식(1)을 보다 정확히 나타내면 식(3)과 같다. (D/h)는 손과 물체의 접촉 비율을 의미한다. 그러나 접촉 비율이 커짐에 따라서 잡는 힘이 일정하게 증가하지 않는다. 그 이유는 손가락이 굴곡 작용에 의한 역학적 원리의 차이이다. 이를 설명하기 위한 변수가 α이다.

$$G' = \sum g_i \alpha \left(\frac{D}{h}\right) \quad \alpha: \text{ 결정계수} \qquad (3)$$

그러므로 식(2) 역시 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F' = \mu G' \qquad (4)$$

토크 T는 식(5)와 같이 정리된다.

$$T = \sum F' = \mu \sum g_i \alpha \left(\frac{D}{h}\right) \qquad (5)$$

3. 연구방법

3.1 피험자의 구성

손목 비틈 작업에서의 토크를 측정하기 위하여 손과 손목과 관련한 근골격계 병력이 없는 20연령대에서 80연령대까지의 여성 227명을 대상으로 하였다. 20연령대는 학생이고, 30연령대에서 50연령대는 가정 주부이며, 60~80연령대는 노인 학교와 가정에서 노년을 보내고 있는 자로 구성하였다. 실험에 참여한 피실험자의 특징은 표 1과 같다.

표 1. 피험자의 구성

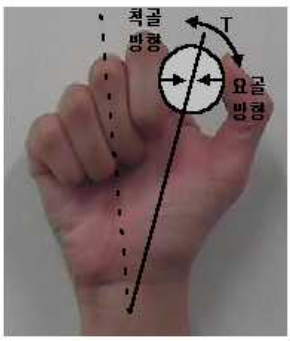
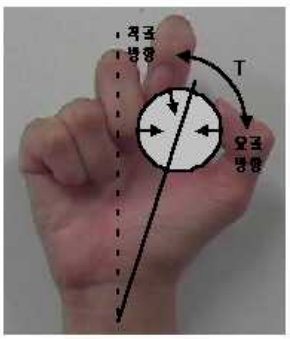
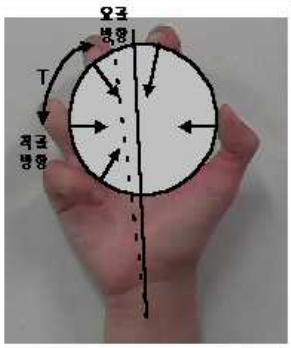
N = 227

연령대	평균 연령(세) 및 표준편차	참여 인원(명)
20	22.2 ± 1.73	33
30	34.9 ± 2.73	37
40	45.0 ± 2.68	34
50	55.9 ± 2.25	35
60	64.6 ± 3.33	31
70	74.9 ± 2.91	33
80	83.9 ± 2.64	24

3.2 손목 비틈 작업시 잡는 손의 모양

현재까지 손목 비틈 작업에 대한 다수의 연구들은 잡는 물체의 지름을 독립변수로 취급

표 2. 잡는 손의 모양

	A유형 (28mm)	B유형 (40mm)	C유형 (66mm)
손의 형태			
협력하는 손가락	1, 2지	1, 2, 3지	1, 2, 3, 4, (5)지 (선택)

——— 물체의 회전 중심 - - - - - 손목의 회전 중심 ———→ 잡는 힘 T 토크

하여 왔다. 그러나 신승헌과 손병창 (2001)의 연구에 의하면, 손으로 물체를 잡을 때는 물체의 지름에 따라서 사용되는 손가락의 수가 다르고, 토크에도 차이가 있다고 하였다. 본 연구에서는 잡는 손의 모양을 물체의 지름에 따라 표 2와 같이 세 가지 유형으로 분류하였다.

A유형은 지름이 28mm인데, 이것은 제 1지와 2지를 사용하여 잡기에 적합한 수치이고, B유형은 지름이 40mm로 제 1, 2, 3지를 사용하기에 적당한 수치이다. C유형은 지름이 68mm이고, 물체를 잡을 때 제 1, 2, 3, 4지를 사용하고, 개인에 따라서 5지를 같이 이용하기에도 적당한 수치이다. A유형은 비틀 때 손가락만을 사용한 것이며, B유형과 C유형은 손가락과 제 1지의 기절골(基節骨)과 중수골(中手骨)에 위치한 손바닥면의 일부가 접촉되어 비트는 동작이다. 물체의 지름을 28mm, 40mm, 66mm로 정한 이유는 산업현장과 일상 생활에서 이 수치를 사용한 도구와 제품이 많으며(산업용 knob, 손잡이, 가공식품 등), 각 지름을 가진 물체를 잡을 때 잡는 손의 모양이 다르기 때문이다.

3.3 실험 장치

토크 측정을 위하여 Glassline사(영국)의 디지털 토크 측정기(그림 2)를 사용하였다. 이 장치는 물체의 지름이 15㎜~132㎜까지 측정 가능하며 토크의 측정 범위는 0 ~ 1000N·cm이다. 측정값은 실시간으로 표시부에 나타나고 컴퓨터와 연결하여 프린트할 수 있다. 측정은 먼저 조임 손잡이를 사용하여 물체를 조임 장치에 고정하고 조작 버튼으로 각 압력 센서의 값을 초기화한 후, 측정하고자 하는 회전 방향으로 비틀면, 요골 방향

표 3. 측정 항목

토크의 종류	최대 토크						선호 토크						악력
잡는손의 유형	A		B		C		A		B		C		
비트는 방향	요골 방향	척골 방향	요골 방향	척골 방향	요골 방향	척골 방향	요골 방향	척골 방향	요골 방향	척골 방향	요골 방향	척골 방향	
항목	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬

으로 값은 (-)로, 척골 방향으로의 값은 (+)로 표시된다.

3.4 실험 방법

3.4.1. 측정 항목

본 연구를 위하여 피실험자 1인에 대하여 표 3과 같이, 토크와 관련한 항목 12개와 잡는 힘을 조사하기 위한 악력을 포함하여 총 13개 항목을 측정하였다. 실험 시간은 개인별로 약 25분에서 30분이 소요되었으며, 한 항목의 측정이 끝난 후 다음 항목을 측정하기 전에 약 2분간의 휴식을 취하도록 하였다. 실험 순서는 표 3에 나타난 항목들이 일정한 순서를 가지지 않도록 임의로 정하였다. 연구를 위해 최대 토크는 장치에서 물체를 잡고 비틀 때 측정치가 더 이상 상승하지 않고 멈춰져 있을 때의 값으로 하며, 선호 토크는 현재의 비트는 힘이 자신에게 부담이 되지 않는다(이 정도의 힘으로 물체가 돌아가면 좋겠다)고 느끼는 순간 물체에서 손을 떼게 하여 그 값으로 하였다.

3.4.2. 측정시 자세

실험은 그림 2의 조임 장치에 물체를 고정한 후, 허리를 자연스럽게 펴고 앉은 자세에서 표 2와 같이 물체를 잡도록 하였다. 물체의 중심이 피실험자의 시상면(sagittal plane)과 일치하도록 하며, 잡는 부위의 높이는 흉골 하단에 있는 검상돌기(劍狀突起)와 일치하도록 의자의 높이를 조절하였다. 그리고 우측 팔 주관절(elbow joint)의 각도가 약 90도가 되도록 한 후 비틀도록 하여 토크를 측정하였다. 측정시 손과 손목 이외에 다른 신체 부위가 사용되지 않도록 주의하였다. 물체의 중심과 잡는 부위의 높이를 규정한 이유는 측정 자세의 일관성을 유지하기 위한 것이고, 주관절을 약 90도로 제한한 것은 해부학적 원리에 의해 손목 운동시 견관절(shoulder)에서 전달되는 힘을 배제하기 위한 것이다(배성수 등, 1987).

3.5 분석 방법

분석을 위하여 통계 프로그램 SAS v. 6.12를 사용하였다. 연령 증가에 따른 토크의 변화를 조사하기 위하여 평균치와 표준편차를 산출하고, 잡는 손의 모양에 따른 평균

치 차이를 검정하기 위하여 분산 분석을 실시하였 다. 또한 토크에 영향을 미치는 각 인자들은 상관 분석을 실시하여 그 관계를 검토한다. 그리고 이러한 변수들이 토크에 미치는 영향을 파악하기 위하여 회귀 분석을 실시하여 회귀 모형을 수립한다.

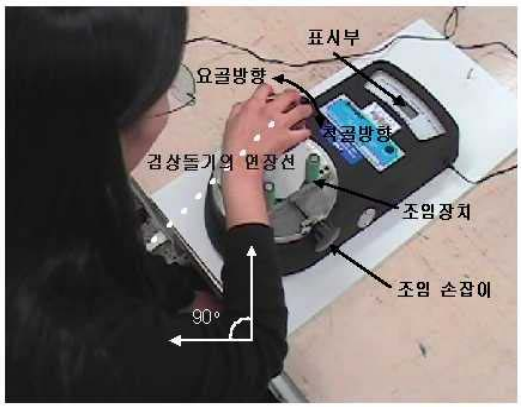


그림 2. 실험장치 및 자세

4. 결과 및 고찰

4.1 연령대별 최대 토크

4.1.1. 요골 방향의 최대 토크

A유형 : 1지와 2지의 측면잡기 동작으로, 표 2에 나타낸 바와 같이 물체는 손목의 편향 중심 축을 중심으로 요골 방향에 치중되어 있다. 이 유형의 토크는 30연령대에서 가장 높고, 그 후 점차 감소하는 경향에 있다(그림 3). 감소 폭이 가장 큰 연령은 70연령대이다. 30연령대의 토크가 20연령대보다 높은 것은 피실험자가 여성이므로 가사, 자녀 양육 등으로 손과 팔의 운동량이 많기 때문으로 생각되며, 70연령대 이후에서 감소 폭이 큰 것은 노화에 따른 신체 기능의 저하가 크게 되는 시기로 생각된다. 그러나 고령자에 대한 연구 자료를 정리한 문헌에 의하면 60연령대에서 기능 저하의 폭이 크다고 하였는데(김진호와 한태륜, 1997), 이는 근래 의료 혜택, 양질의 영양 보충, 운동 등으로 평균 수명이 늘어난 것과 관련이 있는 것으로 생각된다. 외국 문헌에서는 70연령대에서 변화의 폭이 크다고 보고했다(Imrhan, 1994; Voorbij and Steenbekkers, 2002). 또한 20연령대의 토크는 70연령대의 토크와 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 일반적으로 근력은 25세~39세에서 최대이며, 그 후로는 점차 약화된다(Sanders and McCormick, 1993). 본 연구에서 20연령대의 토크가 낮은 것은 피실험자의 다수가 20대 초반의 학생이어서 근력이 형성되고 있는 시기로 생각할 수 있으며, 연약하게 보이려는 여학생의 심리적인 요인도 다소 작용한다는 것을 실험시 관찰할 수 있었다.

연령 증가에 따라 신체 기능의 개인차가 크게 된다는 보고는 다수 있다(신승헌, 1986; 서승록과 이상도, 1992). 그러나 본 연구에서는 연령이 증가하더라도 개인차가 크게 되지 않는 것으로 조사되었다(표 4). 인간은 손을 항상 사용하므로 그 기능이 오랫동안 유지되는 것으로 생각할 수 있다. 이것은 Voorbij and Steenbekkers (2002)의 연구 결과와도 다소 일치하는 내용이다.

B유형 : 1, 2, 3지가 같이 협력하는 구형

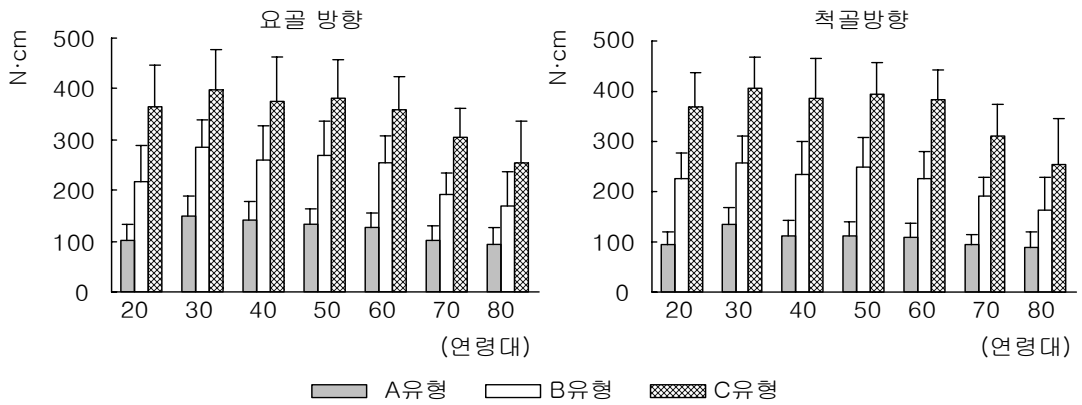


그림 3. 연령별 최대 토크

잡기 동작으로, 손가락과 손바닥의 일부가 사용된다. 물체는 A유형에 비해 손목의 편향 중심 축에 가까이 위치해 있다. 연령대별 토크의 크기를 A유형과 비교하면 모든 연령대에서 큰 것으로 조사하였다(표 5). 이 유형에서도 30연령대의 토크가 가장 높았고, 그 후 점차 감소하는 추세에 있었다(그림 3). 또한, 70연령대에서 토크의 감소 폭이 크다. 토크가 증가한 것은 물체를 비틀 때 작용하는 힘의 성분이 A유형보다 많고, 손과의 접촉 면적이 증가하여 마찰력이 커졌기 때문이다.

C유형 : 1~4(5)지가 협력하는 구형 잡기 동작이다. 물체는 손목의 편향 중심 축과 가장 가까이에 있다. 물체와 손의 접촉면적이 A, B유형과 비교하여 크기 때문에, 토크는 모든 연령대에서 3종류의 유형 가운데 가장 크게 된다(표 6). 이것은 물체를 비틀 때 작용하는 힘의 성분이 표 2에 나타낸 바와 같이 증가한 것이 원인이고, 접촉 면적이 증가하여 마찰력이 가장 높아졌기 때문이다. 연령의 증가에 따른 토크의 변화는 A, B유형과 비슷하였다(그림 3).

4.1.2. 척골 방향의 최대 토크

A유형 : 연령대별로 나타난 토크는 30연령대가 가장 높고, 그 후 점차 감소하였다(그림 3). 또한 70연령대 토크의 감소 폭이 크다. 4.1.1에서 고찰한 바와 같이 기능의 쇠퇴 폭이 큰 시기로 생각된다. 모든 연령대에서 토크는 요골 방향보다 낮았으며($p<0.001$), 요골 방향에 대한 척골 방향의 토크 비율은 86.0~95.0%로 조사되었다(표 4). 김진호 등(1990)의 연구와 김도연 등(1994)의 연구에 의하면 손목 운동에서 근력의 크기는 굴곡근>척측 편위근>요측 편위근>신전근 순으로, 척측 편위근의 근력이 요측 편위근보다 높다고 하였다. 그러나 본 연구의 결과에서는 C유형에서만 기존 연구와 일치하였으며, A, B유형에서는 일치하지 않았다. 이것은 기존의 연구 방법이 손목의 편향 중심 축과 비트는 물체의 중심 축을 일치하게 하고, 잡는 손의 모양이 동일한 조건에서 측정된 것이고, 본 연구에서는 표 2에 나타난 바와 같이 잡

표 4. A유형 토크 평균 및 백분위수 (N · cm)

연령대		최대 토크			선호 토크				
		요골 방향 (a)	척골 방향 (b)	(b)/(a)	요골 방향 (c)	척골 방향 (d)	(d)/(c)	(c)/(a)	(d)/(b)
20	평 균	100.9±31.1	93.8±25.6	0.93	66.5±25.4	68.8±19.9	1.03	0.66	0.73
	5%tile	56.6	65.4		30.8	43.2			
	95%tile	137.6	127.0		108.8	105.4			
30	평 균	151.0±38.5	134.0±33.3	0.89	80.7±35.6	80.0±29.2	0.99	0.53	0.60
	5%tile	83.0	85.6		37.6	32.6			
	95%tile	201.4	190.0		147.0	130.4			
40	평 균	140.2±38.6	111.9±30.8	0.86	82.2±32.7	72.3±26.0	0.88	0.59	0.60
	5%tile	76.0	67.7		40.7	37.3			
	95%tile	200.9	155.7		147.6	119.9			
50	평 균	131.7±32.6	112.8±26.4	0.86	76.7±24.8	77.2±25.0	1.01	0.58	0.68
	5%tile	75.8	67.2		43.0	39.7			
	95%tile	178.9	153.0		115.2	119.2			
60	평 균	127.5±28.4	109.7±28.7	0.86	79.5±27.0	77.7±23.2	0.98	0.62	0.71
	5%tile	89.0	71.5		42.5	46.0			
	95%tile	176.5	155.0		114.5	125.5			
70	평 균	101.0±28.3	95.0±18.8	0.94	65.4±24.1	65.9±17.6	1.01	0.65	0.69
	5%tile	59.4	66.6		35.0	38.4			
	95%tile	146.8	118.0		102.8	92.4			
80	평 균	92.6±34.2	87.8±33.0	0.95	62.3±35.5	59.6±30.8	0.96	0.67	0.68
	5%tile	58.3	55.0		25.2	34.2			
	95%tile	153.8	139.4		127.5	114.3			

는 유형에 따라서 물체의 위치와 손목의 편향 중심 축과 차이가 있고 또한 비트는 방향에 따라서 작용하는 힘의 방향과 크기가 다르기 때문이다.

B유형 : 이 유형에서도 30연령대의 토크가 가장 높고, 그 후 점차 감소하는 추세이다 (그림 3). 감소 폭이 큰 시기는 70연령대이다. A유형과 비교하면 모든 연령대에서 토크가 증가하였다(표 5). 접촉면과 마찰력, 물체에 작용하는 힘의 성분이 증가하였기 때문으로 생각된다. 요골 방향에 대한 척골 방향의 토크 비율은 89.0~104.0%로 A유형보다는 다소 용이하게 척골 방향으로 비트는 힘(토크)을 전달할 수 있었다. 이것은 표 2에 나타낸 바와 같이, 물체가 A유형보다 손목 편향 중심 축에 가까이 위치해 있고, 비틀 때 제2지의 힘을 척골 방향으로 용이하게 전달할 수 있기 때문으로 생각된다.

C유형 : 토크는 모든 연령대에서 3종류의 유형 가운데 가장 크다(표 6). 이것은 4.1.1에서 고찰한 바와 같이 마찰력, 힘의 성분, 접촉 면적의 차이이다. 요골 방향에 대한 척골 방향의 토크 비율은 100~107%로 A, B 유형과 비교하면 다소 용이하게 척골 방향으로 비트는 힘을 전달할 수 있다. 물체를 잡고 비틀 때 2지와 3지의 역학적 위치에 따른 차

표 5. B유형 토크 평균 및 백분위수 (N · cm)

연령대		최대 토크			선호 토크			(c)/(a)	(d)/(b)
		요골 방향 (a)	척골 방향 (b)	(b)/(a)	요골 방향 (c)	척골 방향 (d)	(d)(c)		
20	평 균	218.3±69.4	226.5±51.3	1.04	148.9±47.1	165.3±47.4	1.11	0.68	0.73
	5%tile	130.4	150.4		87.0	99.2			
	95%tile	352.8	311.2		241.8	268.8			
30	평 균	285.4±53.6	257.2±53.3	0.90	156.6±64.6	150.7±42.0	0.96	0.55	0.59
	5%tile	182.4	163.0		72.6	80.6			
	95%tile	358.6	328.6		283.8	223.8			
40	평 균	258.5±68.2	234.0±66.6	0.91	165.1±59.5	152.5±50.8	0.92	0.64	0.65
	5%tile	144.7	131.2		99.5	85.3			
	95%tile	355.0	351.1		251.1	239.0			
50	평 균	267.1±67.7	248.1±59.7	0.93	167.0±52.4	165.5±41.5	0.99	0.63	0.67
	5%tile	166.1	154.1		87.8	101.0			
	95%tile	371.1	322.3		256.7	227.5			
60	평 균	253.8±55.4	226.9±54.0	0.89	170.1±47.3	158.6±48.9	0.93	0.67	0.70
	5%tile	143.0	150.0		99.0	94.0			
	95%tile	334.0	321.0		242.0	241.5			
70	평 균	192.8±42.5	190.5±39.2	0.99	128.1±38.8	130.8±37.5	1.02	0.66	0.69
	5%tile	123.4	135.6		73.6	86.6			
	95%tile	270.0	263.0		185.8	192.4			
80	평 균	169.4±66.8	162.3±66.8	0.96	110.6±61.5	109.9±55.0	0.99	0.65	0.68
	5%tile	87.8	70.4		38.5	45.3			
	95%tile	257.1	277.0		186.0	199.0			

이로 생각한다. 연령의 증가에 따른 토크의 변화는 A, B유형과 비슷했다(그림 3).

4.2 연령대별 선호 토크

4.2.1. 요골 방향의 선호 토크

A유형 : 그림 4에 나타난 바와 같이, 20~40연령대 사이에서 토크는 증가하고, 그 후 감소하는 경향에 있다. 그러나 20~70연령대의 토크는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 최대 토크에 대하여 각 연령대의 선호 토크 비율을 산출하여 표 4의 (c)/(a)에 제시하였다. 그 비율이 61.4(5.1)% 이었다. 최대 토크가 높았던 30~60연령대의 값은 낮았고, 20연령대와 70~80연령대의 값은 높았다. 이것으로 여성의 경우 심리적으로 그들이 선호하는 일정한 수준의 토크가 있다고 생각된다.

B유형 : A유형에 비해 선호 토크는 모든 연령대에서 높았다(그림 4). 물체를 잡는 손의 모양과 마찰력, 작용하는 힘의 성분이 원인으로 생각된다. 연령대별 선호 토크는 20~60연령대까지 일관적인 경향을 찾기 어려웠고($p>0.05$), 70연령대 이후에는 감소하는 경향이 있었다. 최대 토크에 대한 선호 토크의 비율은 64.0(4.0)%로 조사되었다(표 5).

표 6. C유형 토크 평균 및 백분위수 (N · cm)

연령대		최대 토크			선호 토크			(c)/(a)	(d)/(b)
		요골 방향 (a)	척골 방향 (b)	(b)/(a)	요골 방향 (c)	척골 방향 (d)	(d)/(c)		
20	평 균	365.0±82.1	368.6±68.3	1.01	268.0±63.1	284.2±68.4	1.06	0.73	0.77
	5%tile	231.8	277.2		180.6	188.8			
	95%tile	480.2	467.4		358.0	388.2			
30	평 균	399.2±77.2	404.3±63.0	1.01	261.4±87.3	260.2±72.6	0.99	0.66	0.64
	5%tile	251.0	315.2		136.6	123.6			
	95%tile	499.0	485.8		404.8	375.6			
40	평 균	376.3±86.4	384.3±82.0	1.02	258.2±87.4	262.9±78.1	1.02	0.69	0.68
	5%tile	233.0	239.7		147.1	158.6			
	95%tile	499.0	499.0		417.1	395.1			
50	평 균	381.6±74.8	393.0±65.3	1.03	250.2±72.0	266.4±66.7	1.06	0.66	0.68
	5%tile	276.2	291.9		144.0	162.8			
	95%tile	498.6	499.0		372.4	395.0			
60	평 균	358.3±64.0	382.0±60.4	1.07	253.8±64.5	278.6±73.8	1.10	0.71	0.73
	5%tile	243.0	272.5		141.5	165.5			
	95%tile	417.0	455.5		358.5	388.0			
70	평 균	305.3±55.8	312.5±60.6	1.02	201.0±44.9	211.1±47.1	1.05	0.66	0.68
	5%tile	224.4	237.2		136.6	150.6			
	95%tile	381.4	427.6		267.6	287.6			
80	평 균	254.0±83.0	254.8±91.7	1.00	175.6±70.8	171.5±58.3	0.98	0.69	0.67
	5%tile	141.7	143.6		92.8	94.4			
	95%tile	399.7	394.3		259.6	265.4			

C유형 : 토크는 A유형과 B유형에 비해 높은 것으로 측정되었다. 이것 역시 물체를 잡는 손의 모양과 마찰력, 작용하는 힘의 성분이 원인으로 생각된다. 여기서도 연령대별 선호 토크는 20~60연령대까지 일관적인 경향을 찾을 수 없으며($p>0.05$), 70연령대 이후에서는 감소하는 경향이 있었다. 최대 토크에 대한 각 연령대의 선호 토크 비율은 68.6(2.8)%로 앞서 두 유형에 비해서는 다소 높았다(표 6). 이것은 C유형이 토크를 가장 용이하게 발휘할 수 있었기 때문이다.

각 연령대의 최대 토크에 대한 선호 토크의 비율은 20연령대 69.0(3.6)%, 30연령대 58.0(7.0)%, 40연령대 64.0(5.0)%, 50연령대 62.3(4.0)%, 60연령대 66.7(4.5)%, 70연령대 65.7(0.6)%, 80연령대 67.0(2.0)%로 산출된다. 그러므로, 요골 방향에서 선호 토크는 최대 토크의 64.7(3.6)%로 생각할 수 있다.

4.2.2. 척골 방향의 선호 토크

A유형 : 연령대별 토크는 30연령대에서 가장 높고, 그 후 연령이 증가하면 점차 감소하는 경향이 있다(그림 4). 그러나 20~70연령대의 토크는 통계적으로 유의한 차이가 없다($p>0.05$). 요골 방향의 토크와 비교하여서도

모든 연령대에서 차이를 보이지 않았다(p〉0.05). 최대 토크에 대한 선호 토크의 비율을 조사하여 표 4의 (d)/(b)에 제시하였다. 그 비율은 67.0(5.1)%로 조사되었다. 여기

C유형 : 연령대별 토크는 모든 연령대에서 3종류의 유형 가운데 가장 크다(표 6). 이것은 4.1.1의 고찰과 같은 이유로 생각된다. 연령대별 선호 토크는 20~60연령대까지 일관

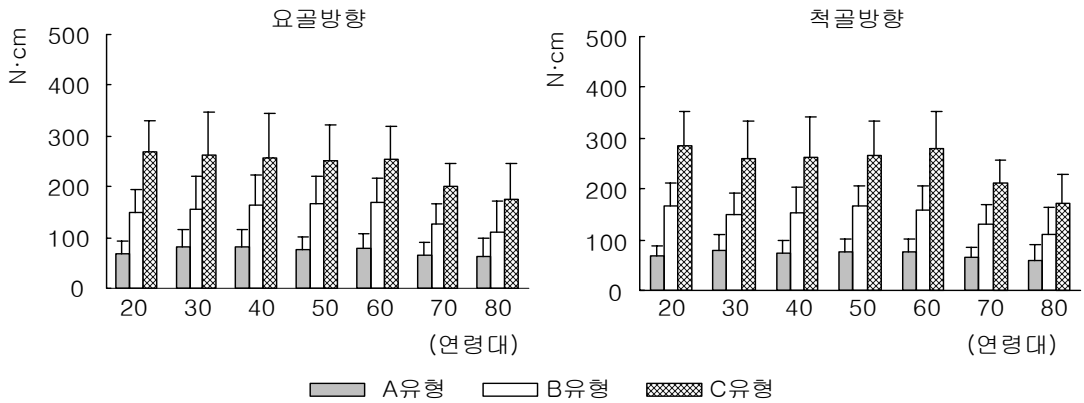


그림 4. 연령별 선호 토크

에서도 최대 토크가 높았던 연령대의 값은 낮은 경향에 있었으며, 최대 토크가 낮았던 연령대는 높은 경향이 있었다. 이것으로 4.2.1에서 고찰한 바와 같이, 여성의 경우 심리적으로 그들이 선호하는 일정한 수준의 토크가 있다는 것을 알 수 있다.

B유형 : A유형에 비해 선호 토크는 모든 연령대에서 높았다(그림 4). 이것 역시 물체를 잡는 손의 모양과 마찰력, 작용하는 힘의 성분이 원인으로 생각된다. 요골 방향의 토크와는 모든 연령대에서 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다(p〉0.05). 연령대별 선호 토크는 4.2.1의 B유형과 유사한 경향에 있었다. 최대 토크에 대한 선호 토크의 비율은 67.3(4.4)%로 조사되어, 그 비율이 A유형과 유사했다(표 5).

적인 경향을 찾을 수 없으며(p〉0.05), 70연령대 이후에서는 감소하는 경향이 있었다. 요골 방향의 토크는 모든 연령대에서 유의한 차이가 없었다(p〉0.05). 최대 토크에 대한 각 연령대의 선호 토크 비율은 69.3(4.3)%이었다.

각 연령대에서 최대 토크에 대한 선호 토크는 20연령대 74.3(2.3)%, 30연령대 61.0(2.6)%, 40연령대 64.3(4.0)%, 50연령대 67.7(0.6)%, 60연령대 71.3(1.5)%, 70연령대 68.7(0.6)%, 80연령대는 67.7(0.6)%로 조사되었다. 그러므로 척골 방향에서 선호 토크는 최대 토크의 67.9(4.4)%로 요골 방향의 64.7(3.6)%와 비슷한 값이 산출되었다. 그러므로 인간은 순간적 작업인 경우, 자신이 낼 수 있는 최대 힘의 약 65.0~68.0%로 작업이 수행되는

것을 선호하는 것으로 볼 수 있다.

표 7은 3가지 유형의 물체의 지름(28mm, 40mm, 66mm)과 2종류의 토크(최대토크, 선호토크), 2종류의 비트는 방향(요골방향, 척골방향)에 대하여 분산분석을 수행하여 그 결과를 제시한 것이다. 물체의 지름에 따른 토크는 유의한 차이가 있으며, 최대 토크와 선호 토크의 차이도 유의하다. 비트는 방향에 따른 토크는 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 7. 작업조건별 토크의 분산분석 결과

요 인	자유도	평균 분산	F 값	P 값
Type	2	9864839.27	2626.59	**0.0001**
Torque	1	4251096.59	1131.89	**0.0001**
Side	1	4312.11	1.15	0.2840
Type*Torque	2	270647.14	72.06	**0.0001**
Type*Side	2	23959.67	6.38	**0.0017**
Torque*Side	1	13780.49	3.67	0.0555
Type*Torque*Side	2	2580.63	0.69	0.5031

Type : 물체의 지름(A유형, B유형, C유형) Torque : 토크의 종류(최대토크, 선호토크)
Side : 비트는 방향(요골방향, 척골방향)

4.3 악력과 토크의 상관 관계

악력을 측정한 목적은 잡고 비트는 힘과 관계가 있으므로 그 상관 관계를 조사하는 것이다. 연령대별 악력은 20연령대 24.2±4.5kg, 30연령대 24.0±4.9kg, 40연령대 22.0±4.4kg, 50연령대 18.5±3.8kg, 60연령대 18.4±4.5kg, 70연령대 14.2±4.7kg, 80연령대 8.6±2.3kg이었다.

악력과 각 유형의 최대 및 선호 토크의 상관 관계를 검토한 결과는 표 8과 같다. 선호 토크 가운데 A유형은 악력과의 상관성이 없었으며, 그 밖의 유형은 양의 약한 상관 관계가 있었다. 악력과 최대 토크의 상관 관계는 잡는 손의 모양이 A유형에서 C유형으로 변할수록 높아졌는데(요골 방향 r : 0.39 → 0.52, 척골 방향 r : 0.38 → 0.56), 악력과 선호 토크 역시 유사한 결과가 얻어졌다(요골 방향 r : 0.26 → 0.46, 척골 방향 r : 0.29 → 0.52). 악력과 연령과는 음의 강한 상관 관계가 있었다($r = -0.72$, $p < 0.001$). 연령과 최대 토크는 B와 C유형의 경우 약한 음의 상관 관계가 있었으며, 선호 토크와는 C유형에서만 약한 음의 상관 관계가 있었다. 그러므로 악력은 물체를 잡을 때 협력하는 손가락의 수가 많은 유형일수록 토

크와의 상관 관계가 높고, 연령은 선호 토크에 미치는 영향이 작다고 할 수 있다.

4.4 토크에 대한 독립 변수의 영향도 평가

각 독립변수들의 변화가 토크의 변화에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 이를 위하여 회귀 분석을 수행하였는데, 그 목적은 도출된 회귀식을 통하여 토크를 추정하기 위함이 아니라, 토크에 대한 각 변수의 영향을 파악하기 위함이다. 일반적으로 회귀 분석은 변수들 간의 함수 관계를 분석하여 모형화하는 통계적 기법으로 사용된다. 이 과정에서 표준화(standardization)된 모수를 추정하면 종속변수에 대한 각 독립변수의 영향도를 평가할 수 있다. 수립되는 모형은 절편이 없으며, 변수의 영향도는 추정된 모수값으로 평가할 수 있다. 본 연구에서 사용한 독립변수는 연령(AGE), 악력(GRIP), 물체의 지름(DIAMETER) 이다. 종속변수는 각 독립변수들과 함수 관계로 나타나는 요골 방향의 최대 토크(RMAX), 척골 방향의 최대 토크(UMAX), 요골 방향의 선호 토크(RPRE), 척골 방향의 선호 토크(UPRE)로 하였다. 그 결과를 모형 1, 2, 3, 4에 제시하였다. 모형 1은 요골 방향의 최대 토크에 대한 변수의 영향도를, 모형 2는 척골 방향의 최대 토크에 대한 변수의 영향도를, 모형 3은 요골 방향의 선호 토크에 대한 변수의 영향도를, 모형 4는 척골 방향의 선호에 대한 변수의 영향도를 평가하기 위한 것이다. 각 독립변수 아래의 p값은 종속변수에 대한 유의성을 나타낸 것이다.

표 8. 상관 분석 결과

	연령	최대 토크						선호 토크					
		A유형		B유형		C유형		A유형		B유형		C유형	
		요골 방향	척골 방향	요골 방향	척골 방향	요골 방향	척골 방향	요골 방향	척골 방향	요골 방향	척골 방향	요골 방향	척골 방향
악력	-0.72*	0.39*	0.38*	0.49*	0.50*	0.52*	0.56*	0.26	0.29	0.32*	0.39	0.46*	0.52*
연령	1.00	-0.22	-0.20	-0.30*	-0.35*	-0.40*	-0.39*	-0.09	-0.11	-0.18	-0.26	-0.34*	-0.40*

* $p<0.001$

모형에 의하면 물체의 지름이 최대 토크와 선호 토크에 미치는 영향은 약 0.79(모형 1~4의 평균)이며, 악력의 영향도는 약 0.27이다. 연령은 최대 토크와 선호 토크에 약 0.10정도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 결과에 의하면, 토크에 영향을 미치는 변수는 물체의 지름 〉 악력 〉 연령이다. 그러므로 물체의 지름에 따른 손과의 접촉 면적의 차이, 악력에 의해 토크는 크게 변화되고, 연령에 의한 영향이 작다는 것을 알 수 있다.

모형 1 : 요골 방향의 최대 토크에 대한 변수의 영향도 (R2= 0.70, p<0.0001, n=681)

RMAX = 0.0249AGE + 0.2902GRIP+0.7914DIAMETER
(p<0.4105) (p<0.0001) (p<0.0001)

모형 2 : 척골 방향의 최대 토크에 대한 변수의 영향도(R2 = 0.78, p<0.0001, n=681)

UMAX = 0.0210AGE + 0.2613GRIP + 0.8455DIAMETER
(p<0.4222) (p<0.0001) (p<0.0001)

모형 3 : 요골 방향의 선호 토크에 대한 변수의 영향도(R2 = 0.62, p<0.0001, n=681)

RPRE = 0.0380AGE + 0.2569GRIP + 0.7537DIAMETER
(p<0.2647) (p<0.0001) (p<0.0001)

모형 4 : 척골 방향의 선호 토크에 대한 변수의 영향도(R2 = 0.70, p<0.0001, n=681)

UPRE = 0.0322AGE + 0.2624GRIP + 0.7996DIAMETER
(p<0.2896) (p<0.0001) (p<0.0001)

5. 결 론

본 연구는 한국 여성들을 대상으로 하여 손목 비틈 작업에서의 토크를 평가하기 위한 것으로 물체를 잡을 때의 3가지 손의 모양, 비트는 방향 2종류에 대하여, 각각 최대 토크와 선호 토크를 조사하였다. 그리고 토크에 영향을 미치는 변수들의 상관 관계를 규명하고, 영향도를 평가하였다. 그 결과 다음과 같은 내용을 알 수 있었다.

1) 토크의 크기는 C유형 〉 B유형 〉 A유형 순이었다. 이것은 비틀 때 작용하는 힘의 크기와 접촉 면적의 차이, 마찰력의 차이로 생각된다.

2) 최대 토크는 30연령대가 가장 높았고, 그후 연령 증가와 함께 서서히 저하되었다. 그러나 연령 증가에 따라 개인 차이가 크게 되지 않았다.

3) 선호 토크는 최대 토크에 대하여 요골 방향으로는 64.7(3.6)%, 척골 방향으로는 67.9(4.4)%로 조사되었다.

4) 악력은 잡을 때 협력하는 손가락의 수가 증가할수록 토크와의 상관 관계가 높고, 악력과 연령과는 강한 음의 상관 관계가 있었다(r = -0.72, p<0.001).

5) 토크에 영향을 미치는 변수는 물체의 지름 〉 악력 〉 연령 순이었다.

손목 비틈 작업은 산업 현장에서뿐만 아니라 일상 생활에서도 빈번하게 발생한다. 특히 최근에 증가하고 있는 가공식품 마개의 개봉 방법에는 잡고 비트는 것이 많은데, 개봉하기 어려운 것이 많아서 다수의 사람들이 어려움을 겪는 것이 현실이다. 이러한 이유는 손과 손목의 운동으로 발휘할 수 있는 토크에 대한 체계적이고 과학적인 연구가 많지 않으며, 포장과 관련한 우리나라 산업 규격(KS G 9101)에도 토크에 대한 표준화된 기준이 없기 때문이다. 그러므로 본 연구의 결과는 토크와 관련된 표준화된 지침을 마련하기 위한 기초 자료로서 활용될 수 있을 것이다.

토크에는 잡는 손의 모양, 악력, 연령 이외에도 재료, 마찰계수 등도 관계되므로 추후 이러한 변수들을 추가하여 연구를 수행할 필요가 있다. 또한 장애를 가진 사람들이나 어린들을 대상으로 한 연구도 필요하다고 생각한다.

참고 문헌

곽원모 등, 산업디자인을 위한 한국인 인체측정 및 활용 기술개발에 관한 연구(결과보고서), 산업자원부, 1998.

김도연, 김현경, 백승호, 정경수, "등속성 운동시 20대 정상성인의 손목관절근력의 정상 치측정." 한국전문물리치료학회지, 1(1), 47-53, 1994.

김진호, 박세진, 김철중, "한국청년의 근력특성에 관한 연구", 대한인간공학회지, 9(2), 37-46, 1990.

김진호, 윤정선, 박수한, 김창범. "산업제품의 설계응용을 위한 한국인 인체측정자료 관리 시스템(ADaM)의 개발." 대한산업공학회지, 8(1), 15-21, 1995.

김진호와 한태륜, 재활의학, 군자출판사, 1997.

배성수 등, 임상운동학 , 영문출판사, 2000.

서승록과 이상도, "수지반응에 의한 중고령자의 노동적응능력의 평가", 대한인간공학회, 11(1), 31-38, 1992.

신승헌, "중고령 노동자의 노동적응능력의 평가", 대한인간공학회, 5(2), 17-26, 1986.

신승헌과 손병창, "고령자에 적합한 가공식품 마개의 개봉 Torque에 관한 연구", 대한 인간공학회지, 20(2), 83-97, 2001.

Aerospace Medical Research Lab., Anthropometric source book ′ Vol, 1 : Antropometry for designers, NASA associates(ed) National Aeronautics and Space Administration Scientific and Technical Information Office, Houston, TX, 1978.

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

An, K, N., Chao, E. Y., and Askew, L. J., "Hand strength measurement instruments." Archives Physics Medicine Rehabilitation, 61, 366-368, 1980.

An, K. N., Chao, E. Y., Cooney Ⅲ, W. P. and Linscheid, R. L., "Normative model of human hand for biomechanical analysis." Biomechanics, 12, 775-788, 1979.

Armstrong, T., Bir, C., Foulke, J., Martin, B., Finsen, L., and Sjogaard, G., ″Muscle responses to simulated torque reactions of hand-held power tools.″ Ergonomics, 42(1), 146-159.

Ayoub, M. M., and Presti, P. L., "The determination of an optimum size cylindrical handle by use of electromyography." Ergonomics, 4, 503-518, 1971.

Boredett, H. M., Koppa, R. J., and

Congelton, J. J., "Torque required from elderly females to operate faucet handles of various shapes." Human Factors, 30(3), 339-346, 1998.

Fransson, C., and Winkel, J., "Hand strength: the influence of grip span and grip type." Ergonomics, 34(7), 881-892, 1991.

Freund, J., Toivonen, R., and Takala, E. P., "Grip forces of the fingertips." Clinical Biomechanics, 17, 515-520, 2002.

Gorden, C. G., Antropometric survey of US army personnel : Method and summary statics', Technical Report, natick/tr-89/044, Yellow Springs, OH, 1989.

Grandjean, E., Fitting the task to the man: A textbook of occupational ergonomics, 4th ed., Taylor & Francis: London, 1988.

Hallbeck, M. S., and McMullin, D. L., "Maximal power grasp and three-jaw chunk pinch force as a function of wrist position, age, and glove type" Industrial Ergonomics, 11, 195-206, 1993.

Imrhan, S. N., "Muscular strength in the elderly - Implications for ergonomics design." Industrial Ergonomics, 13, 125-138, 1994.

Imrhan, S. N., and Loo, C. H., "Modelling wrist-twisting strength of the elderly." Ergonomics, 31(12), 1807-1819, 1988.

Pheasant, S., and O'Neill, D., "Performance in gripping and turning - A study in hand/handle effectiveness." Applied Ergonomics , 6(4), 205-208, 1975.

Sanders, M. S., and McCormick, E, J., Human factors in engineering and design, McGraw-Hill : Singapore, 1994.

Shih, Y. C., and Wang, M. J. J., "Hand/tool interface effects on human torque capacity", Industrial Ergonomics, 18(2-3), 205-213, 1996.

Voorbij, A. I. M., and Steenbekkers, L. P. A., "The twisting force of aged consumers when opening a jar." Applied Ergonomics, 33, 105-109, 2002.

저자 소개

◈ 손병창

계명대학교 산업공학과(학사, 석사)를 졸업하고, 동 대학원에서 박사 과정을 수료했다. 주요 관심분야로는 재활공학, 산업안전, 인간공학 등이다.

◈ 신승헌

동국대학교 산업공학과를 졸업하고, 일본 게이오 대학에서 석사, 박사를 취득했다. 현재 계명대학교 기계 · 자동차 공학부 교수로 재직중이다. 주요 관심분야로는 인간의 중심동요(重心動搖), 중고령자의 기능 특성, 신체장애자의 동작 특성 등이다.

논문접수일 (Date Received): 2002/10/16
논문게재승인일(Date Accepted): 2002/12/6