

## Title

Evaluation of gender effect in various Pliers' grip spans for maximum isometric grasping tasks

## Subtitle

**Gender effect for various Pliers' grip spans**

## ABSTRACT

**Objective:** The purpose of this study was to evaluate the effect of gender(male, female) and grip span(45, 50, 60, 70, 80mm) on total grip force, finger force, and subjective discomfort rating.

**Background:** In order to prevent musculoskeletal diseases, studies of hand tools have to be proceeded based on grip strength, finger force, and subjective discomfort rating. However, experimental apparatus using tools that reflect the actual work place was almost non-existent.

**Method:** Fifty-Two (26 males and 26 females) participants were recruited from the student population. In this study, a revised pliers which can change grip span from 45 to 80mm was applied to estimate total grip strength, resultant force and individual finger forces. All participants were asked to exert a maximum grip force with three repetitions, and to report the subjective discomfort rating for five grip spans of pliers (45, 50, 60, 70, 80mm).

**Results:** There was significant difference of total grip strength, resultant force, individual finger force and subjective discomfort rating according to grip span. The lowest total grip strength was obtained from the grip span of 80mm for both genders. For resultant force, the highest resultant force was exerted at grip span of 50, 60 and 70mm for females and 50, 60mm for males. The lowest subjective discomfort rating was observed in the 50mm for both genders.

**Conclusion:** Based on the result, 50mm and 60mm grip span which provide highest force and lowest discomfort rating might be recommendable for the male and female pliers user.

**Application:** The findings of this study can provide guidelines on designing hand tool to help to reduce hand-related musculoskeletal disorders and obtain better performance.

## Keywords

Grip span, Grip strength, Maximum gripping task, Gender effect, Subjective discomfort rating



## 1. Introduction

최근 들어 작업공정의 자동화 및 컴퓨터의 확산 등에 따라 단순한 작업의 반복과 작업시의 부적절한 자세에 따른 직업관련성 근골격계 질환자수가 매년 급증하고 있는 추세이다. 특히 수근관 증후군(Carpal Tunnel Syndrome, CTS)은 2008년도부터 별도의 코드로 구분되어 관리될 만큼 질환자가 많이 증가하여 이에 대한 대책마련이 시급한 실정이다. 미국의 경우도 수근관 증후군으로 인한 업무 결손일(28일)이 골절로 인한 업무 결손일(30일)에 이어 두 번째로 많은 것으로 나타나(US Bureau of Labor Statistics, 2007) 전 세계적으로 수근관 증후군으로 인한 근로자들의 고충이 크다는 사실을 알 수 있다. 수근관 증후군은 과도한 힘을 주거나 손목의 자세가 부적절한 상태에서 손의 작업을 반복할 때에 발생하며, 특히 여성에게서 빈번하게 발병하는 것으로 잘 알려져 있다. 여성의 수근관 증후군 유병률은 남성보다 3배 이상 높은 수치를 보였으며 특히 중년여성에게서 높은 수치가 관찰되었다 (Phalen, 1972; Frederick et al. 1992). Hales and Bernard(1996)와 Lassen et al.(2005)은 여성의 높은 수근관 증후군 유병률은 근육의 강도, 신체 지수, 호르몬의 남녀 차이에서 근거한다고 밝혔으며, 이 밖에도 경구 피임약의 복용, 난소 적출 수술, 임신과 같이 여성에게서만 나타나는 몇 가지 특성들이 수근관 증후군과 상관관계가 있다는 연구결과가 있다(Sabour and Fadel, 1970; Vessey et al. 1990; Bjorkqvist et al. 1977; Pascual et al. 1991; Wand, 1990). 이러한 수근관 증후군은 수공구 사용과도 밀접한 관련이 있다. Myers와 Trent(1989)의 연구에서 수공구의 사용은 근육의 외상을 초래한다고 밝혔으며, 특히 동력공구는 사람이 낼 수 있는 힘 이상을 발휘하기 때문에 잠재적인 위험이 크다고 밝혔다. 본 연구에서 알아 보고자 하는 A-type pliers의 파지폭은 사용자의 작업능률에 영향을 미치는 중요한 수공구 설계요인이라고 할 수 있다 (Pheasant and Scriven, 1983; Fransson and Winkel, 1991; Blackwell et al., 1999). 이에 따라 A-pliers 수공구와 관련된 질환을 줄이고자 최적 파지폭 도출을 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. Fransson and Winkel(1991)은 남성의 최적 파지폭을 55~65mm, 여성의 최적 파지폭을 50~60mm라고 제안하고 있으나, 서양인을 대상으로 한 연구이기 때문에 한국인을 위한 수공구 설계에 적용하기에는 무리가 있다. 또 다른 연구 Kong et al.(2014)은 한국 남성의 최적 파지폭을 50mm라고 제시하고 있으나 여성의 파지폭에 대한 내용은 다루고 있지 않다. 따라서 본 연구의 목적은 (1) 파지 폭을 자유롭게 조절하고 효과적으로 각 손가락 별 악력 과 전체 악력 및 합력을 측정할 수 있는 측정 장비를 개발하고 (2) 이를 적용하여 여성과 남성의 각 손가락 별 악력과 총 악력, 합력을 측정하여 (3) 결과적으로 성별에 따른 최적 파지폭을 도출하는 것이다.

## 2. Method

### 2.1 Participants

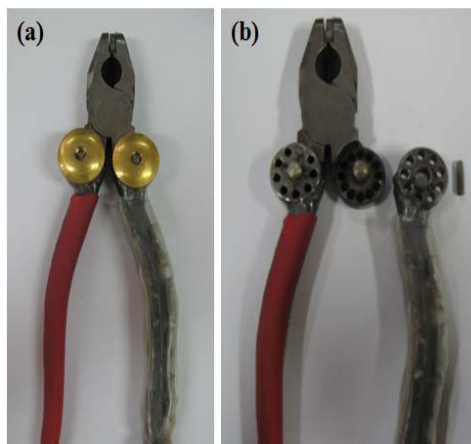
본 연구를 위해 상지에 근골격계 질환 병이 없는 52명(남26, 여26)의 성인 남녀가 피실험자로 참여하였다. 실험 전 키, 몸무게, 팔 길이 등의 인체치수를 측정하였으며, 참가자의 기본적인 정보를 기록하였다. 추가적인 인체 치수 정보는 [Table 1]과 같다.

**Table 1** Characteristics of participants

Contents	Male		Female	
	Mean	SD	Mean	SD
Age[yr.]	25.8	1.5	22.9	2.4
Weight[kg]	74.0	12.9	52.5	7.4
Height[cm]	173.8	5.4	161.7	5.1
Arm length[cm]	54.1	4.5	51.8	2.3
Upper arm length[cm]	34.8	5.3	31.8	1.4
Lower arm length[cm]	26.4	1.6	24.8	1.4
Upper arm circum[cm]	31.2	3.4	22.8	2.0
Elbow circum[cm]	28.0	3.0	23.0	2.1
Wrist circum[cm]	16.0	0.7	13.9	1.2
Hand length[cm]	18.5	0.7	16.6	0.9
Hand width[cm]	8.1	0.3	7.0	0.1
Hand depth[cm]	2.9	0.2	2.6	0.2

## 2.2 Measurement System

본 연구에서는 실제 산업현장에서 쓰이고 있는 A-type 플라이어를 개조하여 파지폭 변경이 자유롭도록 하였다. 파지폭을 자유롭게 조절할 수 있도록 각 손잡이 상단에 톱니바퀴를 삽입하여 제작하였다 [Figure 1].



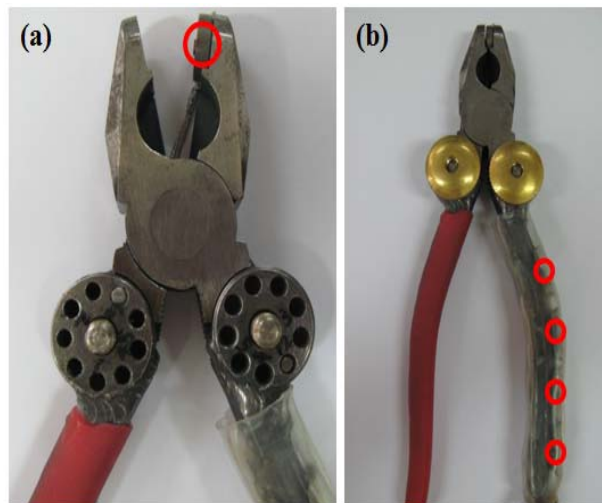
**Figure 1** Renovated A-type Pliers (a), Principle of Changeable Grip Span (b)

파지폭은 중지 부분을 기준으로 총 다섯 가지 파지폭(45, 50, 60, 70, 80mm)을 선정하였으며 플라이어의 상세한 치수는 [Table 2]와 같다.

**Table 2** Specifications of Pliers

	45mm	50mm	60mm	70mm	80mm
Index	43.8	47.2	55.4	60.8	67.9
<b>Middle</b>	<b>45.0</b>	<b>50.0</b>	<b>60.0</b>	<b>70.0</b>	<b>80.0</b>
Ring	39.2	48.2	63.4	76.0	91.4
Little	32.1	42.3	60.0	75.4	95.3

플라이어 사용 시 발생하는 각 손가락 별 힘과 총 악력 및 합력을 측정하기 위하여 Load cell(Subminiature Load cell, Model 13, Honeywell)을 사용하였다. 각 손가락 별 힘을 측정하기 위해서 손잡이의 검지, 중지, 약지, 소지가 닿는 부분에 Loadcell을 삽입하였다. Loadcell을 통해 측정된 각 손가락의 힘의 합을 총 악력이라고 정의하였으며, 플라이어 턱이 맞물리는 부분에도 Loadcell을 삽입하여 합력을 측정할 수 있도록 설계하였다 [Figure 2].



**Figure 2** Location of Inserted Loadcells for Resultant Force (a), Individual Finger Force (b)

Loadcell에서 출력된 데이터는 National Instrument USB-6008 DAQ board를 통해 디지털 값으로 변환되어 컴퓨터로 전송하였다. 컴퓨터로 전송한 측정값을 실시간으로 모니터링하고, 데이터의 저장 및 분석을 위하여 LabView(National Instrument, Austin, TX, USA)를 사용하여 프로그래밍 하였다 [Figure 3].

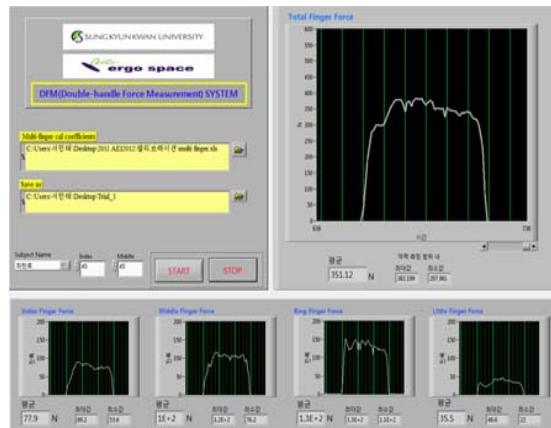


Figure 3 Force Measurement Program (LabView)

### 2.3 Posture

실험 자세는 미국 손 치료사협회(American Society of Hand Therapists, ASHT)의 제안에 따라 의자에 앉은 상태에서 어깨는 자연스럽게 내리고 팔꿈치는 90°로 굴곡, 전완 및 손목은 중립을 유지하도록 하였다(Fess and Moran, 1981). 허리를 수직으로 곧게 편 상태에서 시선은 정면을 주시하였으며, 팔걸이를 이용하여 팔의 움직임과 플라이어의 하중으로 인한 힘의 사용을 최소화하였다.

### 2.4 Experimental design

독립변수로 5가지 파지 폭(45, 50, 60, 70, 80mm)을 선정하였으며, 종속변수로 총 악력과 각 손가락별 힘, 합력 및 10점 척도의 주관적 불편도를 선정하였다. 총 악력은 각 손가락 힘의 합으로 정의하였다. 통계분석은 SPSS(ver. 18.0)을 이용하여 ANOVA 분석을 수행하였으며, 다중비교 방법은 Tukey HSD를 선택하여 유의 수준 0.05로 분석하였다.

### 2.5 Experimental procedures

실험 전, 실험에 영향을 미칠 수 있는 상지 근골격계 질환 및 기타 신체 질환 여부에 대한 설문지를 작성한 후, 실험 참가자의 정보 및 신체 치수를 측정하였다. 악력 측정은 주력손을 사용하여 수행하였으며 본격적인 실험에 앞서 실험 자세와 파지 방법에 대한 사전연습을 수행하였다. 1회당 약 5초간 악력 측정을 하였으며 각 측정 사이에는 약 3분간의 휴식을 제공하여 피로도를 최소화하였다. 다섯 가지 파지 폭에 대해 3회 반복하여 총 15회의 최대 악력을 측정하였다.

### 3. Results

#### 3.1 Total Grip Strength

최대 악력 측정에서 총 악력에 대한 파지 폭의 영향은 남녀 모두에게서 통계적으로 유의했다(p-value < 0.001). [Table 3]과 같이 남성의 경우 50mm와 60mm 파지폭에서 각각 310.12N, 311.79N으로 유의하게 큰 악력을 나타냈으며, 80mm 파지폭에서 210.15N으로 가장 작은 악력을 보였다. 여성의 경우 80mm 파지폭을 제외한 나머지 파지폭에서는 비슷한 악력을 보였지만, 80mm 파지폭에서는 110.69N으로 유의하게 작은 악력을 나타냈다. 또한 남성과 여성의 악력 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보였는데, 여성의 악력(146.1N)은 남성(276.5N)의 약 53%만을 발휘하는 것으로 나타났다.

**Table 3** Total Grip Strength(N) over Gender

	Total Grip Strength (N)	
	Male	Female
45mm	273.08 <sup>C</sup>	152.59 <sup>A</sup>
50mm	310.12 <sup>AB</sup>	159.77 <sup>A</sup>
60mm	311.79 <sup>A</sup>	158.52 <sup>A</sup>
70mm	277.19 <sup>BC</sup>	148.92 <sup>A</sup>
80mm	210.15 <sup>D</sup>	110.69 <sup>B</sup>
Mean	276.46	146.10

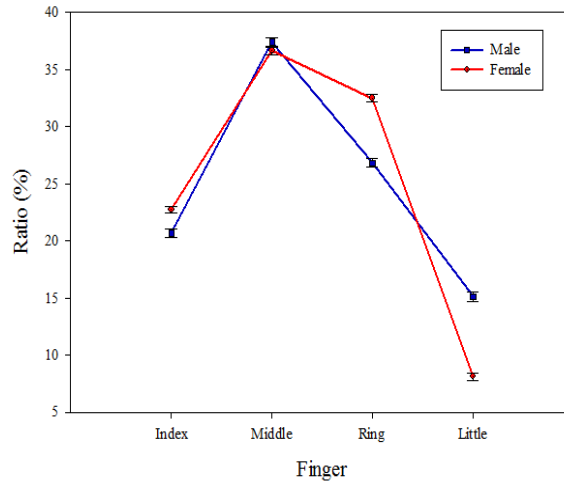
#### 3.2 Individual Finger Force and Contribution

[Table 4]는 각 손가락의 힘과 기여도를 나타낸다. 각 손가락 별 힘의 분석에서, 가장 큰 힘과 기여도를 나타낸 손가락은 남녀 모두 중지였으며 다음으로 약지, 검지, 소지 순의 경향을 나타냈다. 손가락별 기여도에 대한 성별과 손가락의 교호작용[Figure 4]은 통계적으로 유의했다(p-value < 0.001). 여성의 중지(36.71%)와 약지(32.59%)의 기여도의 차이는 약 4.1%의 차이만을 보였지만, 남성의 경우 중지(37.40%)와 약지(26.81%)의 기여도의 차이가 약 10.6%로 여성에 비해 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 여성의 소지 기여도(7.98%)는 남성(15.10%)에 비해 유의하게 작으며, 여성의 약지 기여도(32.59%)가 남성(26.81%)에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

**Table 4** Individual Finger Forces and Contributions

	Grip Span (mm)	Individual finger forces (N) and contributions (%)			
		Index	Middle	Ring	Little
Male	45	74.64N 27.27%	112.05N 41.02%	62.52N 22.91%	23.86N 8.80%
	50	69.37N 22.35%	115.24N 36.97%	79.35N 25.64%	46.17N 15.04%
	60	60.52N 19.53%	112.73N 36.12%	83.54N 26.90%	55.01N 17.47%
	70	50.99N 18.43%	100.39N 36.18%	75.31N 27.45%	50.45N 17.95%
	80	34.57N 15.91%	75.83N 36.71%	64.75N 31.14%	35.00N 16.24%
	<b>Mean</b>	<b>58.02N 20.70%</b>	<b>103.25N 37.40%</b>	<b>73.09N 26.81%</b>	<b>42.10N 15.10%</b>
	Female	45	35.19N 22.48%	63.66N 40.92%	51.82N 34.18%
	50	34.68N 21.37%	60.99N 37.41%	56.93N 34.89%	10.03N 6.33%
	60	34.56N 21.74%	55.99N 34.34%	51.64N 32.57%	17.86N 11.35%
	70	34.47N 23.45%	52.91N 34.88%	47.85N 32.08%	14.85N 9.58%
	80	28.24N 24.82%	40.68N 36.02%	32.52N 29.21%	11.25N 9.95%
	<b>Mean</b>	<b>33.48N 22.74%</b>	<b>54.85N 36.71%</b>	<b>47.95N 32.59%</b>	<b>11.51N 7.93%</b>

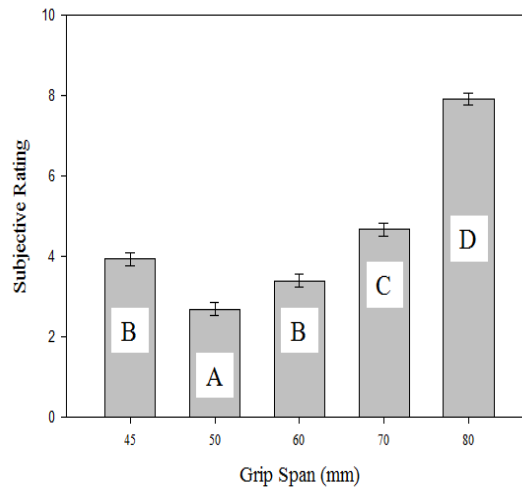




**Figure 4** Interaction on Finger and Gender

### 3.3 Subjective Discomfort Rating

주관적 불편도는 파지폭에 따라 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다( $p < 0.001$ ). 남녀 모두 50mm 파지폭에서 가장 낮은 불편도를 보였으며 80mm 파지폭에서 가장 큰 불편도를 나타냈다 [Figure 5].



**Figure 5** Subjective Discomfort Rating over Grip Span

### 3.4 Resultant Force

합력에 대한 파지 폭의 영향은 남녀 모두에게서 통계적으로 유의했다( $p\text{-value} < 0.001$ ). Table 5와 같이 남성의 경우 50mm와 60mm 파지폭에서 각각 706.70N과 737.85N으로 가장 큰 악력을 나타냈으며, 80mm 파지폭에서 501.74N으로 유의하게 작은 악력을 보였다. 여성 역시 80mm 파지폭에서 257.02N

으로 가장 작은 합력을 보였으며, 50mm, 60mm, 70mm 파지폭에서 각각 367.14N, 376.68N, 343.71N으로 유의하게 큰 합력을 나타냈다. 또한 남성과 여성의 합력 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보였는데, 여성의 합력(334.39N)은 남성(625.26N)의 약 53%를 발휘하는 것으로 나타났다.

	Resultant Force (N)	
	Male	Female
45mm	520.61 <sup>C</sup>	327.41 <sup>C</sup>
50mm	706.70 <sup>AB</sup>	367.14 <sup>AB</sup>
60mm	737.85 <sup>A</sup>	376.68 <sup>A</sup>
70mm	659.38 <sup>BC</sup>	343.71 <sup>AB</sup>
80mm	501.74 <sup>D</sup>	257.02 <sup>D</sup>
Mean	625.26	334.39

**Table 5** Resultant Force over Gender

#### 4. Conclusion

A-type 플라이어의 최적 파지폭을 평가하기 위해 최대악력 과업 실험을 수행하였으며, 이를 위한 Pliers Measurement System을 자체적으로 개발하였다. 남성과 여성 모두 파지폭에 따라 손가락별 힘, 총 악력, 합력 및 주관적 불편도는 유의한 차이를 보였다. 총 악력의 경우 여성은 80mm를 제외한 파지폭에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나, 남성의 경우 50mm와 60mm에서 가장 큰 악력을, 80mm 파지폭에서 가장 낮은 악력을 보여 여성에 비해 파지폭에 따라 민감한 차이를 나타냈다. 합력의 경우 여성은 50mm, 60mm, 70mm에서 가장 큰 합력을 나타냈으며 남성의 경우 50mm와 60mm에서 가장 큰 합력을 나타냈다. 주관적 불편도의 경우 남녀 모두 50mm 파지폭에서 유의하게 작은 주관적 불편도를 나타냈다. 따라서 플라이어 사용시의 악력과 합력 및 주관적 불편도를 종합하여 고려했을 때, 최적의 파지폭은 남녀 모두 50~60mm 라는 결과를 도출할 수 있었다. 본 연구의 한계점은 실제 산업현장에서 수행하는 과업을 고려하지 않고 최대악력 실험만을 수행했다는 점이다. 또한 남녀 모두 20대만을 대상으로 하였기 때문에 전 연령대를 아우를 수 있는 가이드라인을 도출하기에는 미흡한 점이 있다. 따라서 추후 연구에서는 좀 더 다양한 연령대의 피실험자들 특히 산업현장에 종사하고 있는 비율이 높은 40~50대를 중심으로 실제 산업현장에서 빈번하게 이루어지는 과업에 대한 실험을 해야 할 것이라고 생각된다. 본 연구의 결과가 인간공학적인 수공구 설계에 반영되기를 바라며, 이를 통해 수공구로 인한 작업관련성 근골격계 질환의 예방과 작업현장의 효율성에 도움이 되길 기대한다.

## Acknowledgements

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01007906)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Bjorkqvist, S.E., Lang, A.H., Punnonen, R. and Rauramo, L., Carpal tunnel syndrome in ovariectomized women, *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*, 56(2), 127-130, 1977
- Blackwell, J. R., Kornatz, K. W., & Heath, E. M. Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis. *Applied Ergonomics*, 30(5), 401-405, 1999
- Fransson, C. and Winkel, J., Hand strength: the influence of grip span and grip type, *Ergonomics*, 34(7), 881-892, 1991
- Fess, E. E., & Moran, C. A., Clinical assessment recommendation. American Society of Hand Therapists, 1981.
- Frederick, H.A., Carter, P.R. and William Litter, J., Injection injuries to the median and ulnar nerves at the wrist. *The Journal of Hand Surgery*, 17(4), 645-647, 1992
- Lassen, C.F., Mikkelsen, S., Kryger, A.I. and Andersen, J.H., Risk factors for persistent elbow, forearm and hand pain among computer workers. *Scandinavian journal of work, Environment & Health*, 122-131, 2005
- Myers, J. R., & Trent, R. B., Hand tool injuries at work: A surveillance perspective. *Journal of safety research*, 19(4), 165-176, 1989
- Hales, T.R. and Bernard, B.P., Epidemiology of work-related musculoskeletal disorders. *The Orthopedic Clinics of North America* 27 (4), 679-709, 1996
- Hunter, J.M., Schneider, L.H., Mackin, E.J., Bell, J.A. (Eds.), Rehabilitation of the Hand. C.V. Mosby Company, St. Louis, MO, 1978
- Kattel, B. P., Fredericks, T. K., Fernandez, J. E., & Lee, D. C., The effect of upper-extremity posture on maximum grip strength. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 18(5), 423-429, 1996
- Kong, Y.K., Freivalds, A., & Kim, S. E., Evaluation of handles in a maximum gripping task. *Ergonomics*,

47(12), 1350-1364, 2004

Kong, Y.K. & Lowe, B.D., Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(6), 495-507, 2005

Kong, Y.K., Seo, M.T. and Kang, H.S., Evaluation of total grip strength and individual finger forces on opposing (A-type) handles among Koreans, *Ergonomics*, 57(1), 108-115, 2014

Pascual, E., Giner, V., Arostegui A., Conill, J., RUIZ, M.T. and Pico, A., Higher incidence of carpal tunnel syndrome in oophorectomized women, *Rheumatology*, 30(1), 60-62, 1991

Phalen, G.S., The carpal-tunnel syndrome: clinical evaluation of 598 hands, *Clinical orthopaedics and related research*, 83, 29-40, 1972

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

Radwin, R. G., Oh, S., Jensen, T. R., & Webster, J. G., External finger forces in submaximal five-finger static pinch prehension. *Ergonomics*, 35(3), 275-288, 1992.

Sabour, M, S. and Fadel, H.E., The carpal tunnel syndrome - a new complication ascribed to the 'pill', *American Journal of obstetrics and gynecology*, 107(8), 1265-1277, 1970

US Bureau of Labor Statistics. Nonfatal Occupational Injuries and illnesses Requiring Days Away From Work 2007

Vessey, M. P., Villard-Mackintosh, L. and Yeates, D., Epidemiology of carpal tunnel syndrome in women of childbearing age. Findings in a large cohort study, *International Journal of Epidemiology*, 19(3), 655-659, 1990,

Wand, J.S., Carpal tunnel syndrome in pregnancy and lactation. *The Journal of Hand Surgery : British & European Volume*, 15(1) : 93-95, 1990