Optimal grip span of A-type pliers in a maximum gripping task

Yong-Ku Kong[1], Jin Woo Jung[1], Sangmin Kim[1], Heewoong Jung[1], Hakje Yoo[2], Dae-Min Kim[1], Hyun-Sung Kang[1*]

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

ABSTRACT

Objective: The objective of this study is designing an optimal hand tool through maximum grip force study accordance to the hand grip span. **Background:** In order to prevent musculoskeletal diseases, studies on hand tool design are proceeding based on grip strength, finger force, and contribution of individual finger force on total grip strength. However, experimental apparatus using a tool that is actually used in work place was almost non-existent. **Method:** 19 males were participated in an experiment. Using the load cell inserted real plier, finger force, grip strength, and subjective discomfort rate of both hands (dominant and non-dominant) were measured in 5 different hand grip span (45mm, 50mm, 60mm, 70mm, and 80mm). **Result:** There was significant difference ($p<0.001$) of total grip strength, individual finger force and subjective discomfort rating according to various hand grip span (45, 50, 60, 70, and 80mm). Also, statistically significant different ($p<0.001$) was shown between the dominant hand and non-dominant hand. In addition, individual finger force in maximum grip was in order of middle finger, ring finger, index finger, and little finger. **Conclusion**: Optimal grip span of pliers that exerting maximum grip strength is 50~60mm.

Keywords: *A-type hand tools, pliers, grip span, maximum grip, subjective discomfort rate*

1. Introduction

대부분의 산업 현장에서 반복적인 작업으로 인해 작업자의 신체 특정 부위에 부하가 발생되며 이는 근골격계 질환으로 이어질 가능성이 높다. 그에 따라 신체 특정 부위, 그 중에서도 손에 대한 부하를 줄이기 위한 수공구의 최적 설계에 대한 연구가 지속되고 있다.

물체를 쥐는 힘인 악력은 수공구 설계 관점에서 손 관련 근골격계질환 예방을 위한 중요한 고려 요소이다. 악력에 대한 연구는 파지 폭, 파지 형태, 각 손가락별 힘, 주력 손과 비주력 손 등 여러 가지 방향으로 접근하여 수행되어 왔다.

관련된 선행 연구로 최대 악력을 발휘하는 최적의 파지 폭에 대한 연구가 수행 되었으며(Petrofsky et al., 1980; Fransson and Winkel, 1991; Talsania and Kozin, 1998; Eksioglu, 2004), 특히 Kong et al.(2008)의 연구에서는 전체 힘 뿐만 아닌 각 손가락의 힘을 측정하여 5 가지 파지 폭에 대한 최대 악력 수행 시 파지 폭에 따라 총 악력 뿐만 아니라 손가락 별 악력의 유의한 차이를 확인하였다.

파지 폭에 따라 손가락의 힘이 달라지는 점에 미루어 보았을 때, 악력은 파지 형태에 따라서 달라질 것이라 생각할 수 있는데 Kong et al.(2009)의 연구에서는 파지 형태를 검지와 소지의 파지 폭에 따라 A, D, I, V 네 가지 형태로 분류하였고, Fransson and Winkel(1991)의 연구에서는 플라이어를 잡는

형태에 따라 검지가 파지되는 부분보다 소지가 파지되는 부분의 길이가 긴 traditional grip 과 검지 파지 폭보다 소지 파지 폭이 작은 reversed grip 으로 분류하였다. 이중 A 형 손잡이(traditional grip)에 대한 연구로 Greenberg and Chaffin(1977)과 Fransson and Winkel(1991)의 연구가 존재한다. 각 연구에서 최적의 파지 폭은 75~80mm(Greenberg and Chaffin, 1977), 남성 55~65mm, 여성 50~60mm(Fransson and Winkel, 1991)이라 하였다. 각 손가락 별 힘을 측정할 수 있는 MFFM system(Kong et al., 2008)의 확장 연구로 제작한 A 형 손잡이에 대한 Kong et al.(2011)의 연구에서는 동일한 장비의 I 타입과 다소 다른 최적 파지 폭을 도출하였다.

최대 악력을 발휘할 수 있는 최적의 파지 폭과 관련해, 최대 악력 과업 수행 시 각 손가락에서 발생하는 힘에 대한 기존 연구 결과를 보면 대부분의 연구에서 중지가 가장 큰 힘을 나타내었고 다음으로 검지와 약지의 힘이 비슷하거나 작은 차이가 존재하였으며 소지는 가장 약한 힘을 발휘하였다(Hazelton et al., 1975; Fransson and Winkel, 1991; Farris et al., 1997). 하지만 본 파지 형태가 달라짐에 따라 기존 I 형 손잡이에서 나타나는 손가락 별 힘의 비율과 유사한 결과를 나타낼 것인가를 고려해 보아야 한다. 각 손가락에서 발휘되는 힘의 크기가 파지 폭에 따라 다른 만큼 파지 형태의 변화에 따라서 각 손가락에서 발생하는 힘의 비율이 변할 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 실제 공구 활용시 발생하는 손가락 힘과 악력, 그리고 주관적 불편도를 이용해 최적의 플라이어 파지 폭을 도출하려고 한다. 실험 장비는 일반적으로 작업현장에서 많이 사용되는 A 타입의 플라이어를 사용하여 각 손가락 힘을 측정할 수 있도록 개조하여 사용하였다.

2. Method

2.1 Subjects

본 연구를 위해 과거 및 현재 상지에 근골격계관련 질환 병력이나 기타 질환이 없는 성인 남성 19 명이 참가하였다. 실험 참가자의 평균 나이는 25.7±2.5 세, 키 176.0±3.6cm, 몸무게 69.7±8.2kg, 손 길이 18.8±0.9cm, 손 너비 8.2±0.5cm 이다.

2.2 Equipment

일반적인 작업 현장에서 사용되는 플라이어의 헤드 부분과 손잡이 경계 부분의 구조를 개조하여 파지 폭을 자유로이 조절할 수 있도록 하였고, 각 손가락의 힘을 측정할 수 있도록 파지하는 부분에 로드셀을 삽입한 플라이어를 제작하였다(Figure 1). 플라이어의 파지 폭은 로드셀이 장착된 손잡이의 중지의 중점 부분을 기준으로 총 5 가지(45mm, 50mm, 60mm, 70mm, 80mm)를 선정하였다(Figure 2). 모든 데이터는 LabVIEW 프로그램을 사용하여 측정하고 저장하였다.

Figure 1. custom-made pliers

	45mm	50mm	60mm	70mm	80mm
Index	40.74	45.79	51.52	57.66	62.00
Middle	44.54	52.20	60.80	69.74	80.05
Ring	39.51	49.79	62.60	72.29	86.51
Little	30.81	44.00	60.20	72.05	90.36

Figure 2. Specification of custom-made pliers

2.3 Experimental design

독립변수로 파지 폭(45mm, 50mm, 60mm, 70mm, 80mm)과 주력 손, 그리고 손가락(검지, 중지, 약지, 소지)을 선정하였으며, 종속변수로 총 악력과 각 손가락 힘, 그리고 10 점 척도의 주관적 불편도(VAS: Visual Analog Scale)를 선정하였다.

통계적 분석은 SPSS(ver. 18.0)을 활용하여, ANOVA 를 수행하였으며, 다중비교 방법은 Tukey HSD 를 선택하여 유의수준 $\alpha = 0.05$ 로 검증하였다.

2.4 Experimental procedures

실험 전, 상지 근골격계 질환 및 실험에 영향을 미칠 신체 질환에 대한 응답지를 작성한 후, 실험 참가자의 정보 및 신체 치수를 측정하였다. 다음으로 실험 자세와 실험 방법에 대해 설명한 후, 플라이어에 대한 파지 방법과 사전 연습을 수행하였다. 악력 측정은 주력손과 비주력손을 모두 사용하여 수행하였다. 본 실험에서는 1 회당 약 5 초간 악력을 측정하였으며, 각 측정 사이에 약 3 분간의 휴식 시간을 제공하여 손과 측정 근육의 피로도를 최소화하였다. 측정 후 손의 각 부위에 대한 주관적 불편도를 VAS scale 을 이용하여 평가하였으며, 양 손에 대해 무작위로 5 가지 파지 폭에서 각 2 회 반복하여 총 20 회의 최대 악력을 측정하였다.

3. Results

3.1 Grip strength

파지 폭에 따라 총 악력은 통계적으로 유의한 차이를 보였고($p<0.001$), 각 손가락의 악력도 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으며($p<0.001$), 주력 손과 비주력 손의 차이 역시 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.001$).

총 악력은 60mm 의 파지 폭에서 345N 으로 가장 높은 악력을 보였고, 80mm 의 파지 폭에서 261N 으로 가장 낮은 악력을 보였다(Figure 3).

최대 악력의 손가락 별 힘에서 가장 높은 힘을 보인 손가락은 중지(109N)이고, 다음으로 약지(84N), 검지(73N), 소지(45N) 순으로 각각 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p<0.001$) (Figure 4).

주력 손과 비주력 손에 대한 최대 악력은 주력손 323N, 비주력 손 299N 으로 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으며($p<0.001$), 주력 손에 대해 비주력 손의 악력이 92.6%의 악력을 나타냈다.

파지 폭과 손가락 악력 간의 교호작용 역시 Figure 5 와 같이 통계적으로 유의하였다($p<0.001$). 파지 폭과 손가락 간의 교호작용에서, 검지와 중지의 파지 폭이 증가할수록 각 손가락에서 발생하는 힘이 통계적으로 유의하게 감소하였고, 약지와 소지의 힘은 통계적으로 유의하게 증가하였다(Table 1).

손가락과 주력 손의 교호 작용은 통계적으로 유의하였지만 모든 손가락에서 주력 손이 비주력 손보다 높은 악력을 나타냈다(Figure 6).

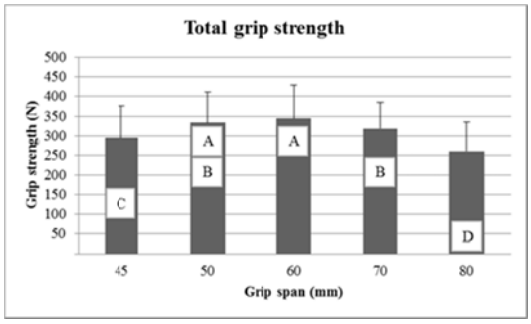

Figure 3. Total grip strength over grip spans

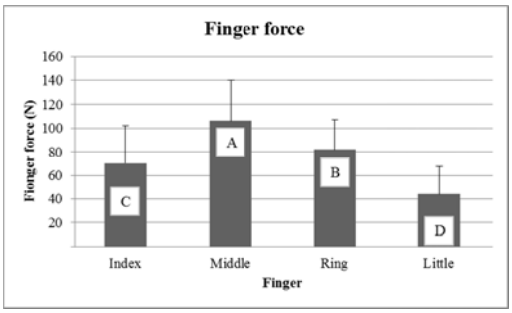

Figure 4. Individual finger force in maximum grip strength

3.2 Subjective discomfort rating

최대 악력 측정 시, VAS 을 활용하여 측정한 손의 주관적 불편도는 파지 폭에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.001$).

Figure 6을 보면, 60mm 파지 폭에서 가장 낮은 주관적 불편도를 나타냈으며 80mm의 파지 폭에서 가장 높은 주관적 불편도를 나타냈다(Figure 7).

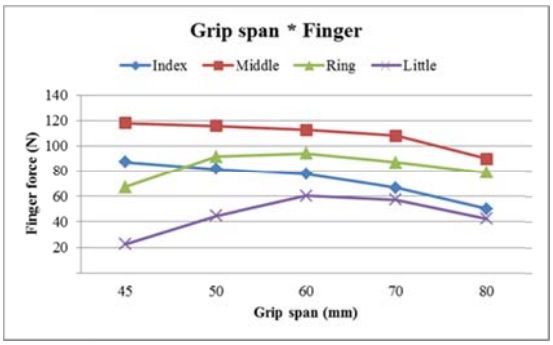

Figure 5. Interaction of finger and grip span

Table. 1 Individual finger force over grip span

	45mm	50mm	60mm	70mm	80mm
Index	87 ± 34^{A}	82 ± 28^{A}	78 ± 28^{AB}	67 ± 26^{B}	50 ± 22^{C}
Middle	118 ± 35^{a}	116 ± 30^{a}	113 ± 31^{a}	108 ± 28^{a}	90 ± 30^{b}
Ring	$67\pm21^{\gamma}$	$92\pm24^{\alpha}$	$94\pm25^{\alpha}$	$87\pm20^{\alpha\beta}$	$79\pm22^{\beta}$
Little	$22\pm13^{\underline{C}}$	$44\pm19^{\underline{B}}$	$60\pm24^{\underline{A}}$	$57\pm22^{\underline{A}}$	$42\pm15^{\underline{B}}$

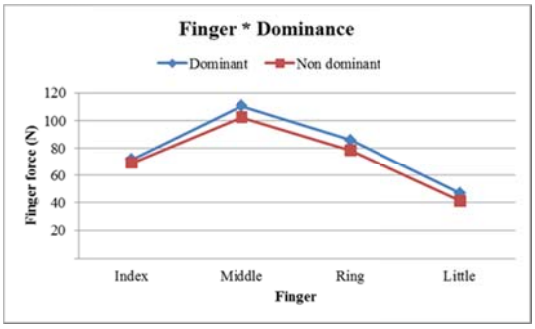

Figure 6. Interaction of finger and dominant hand

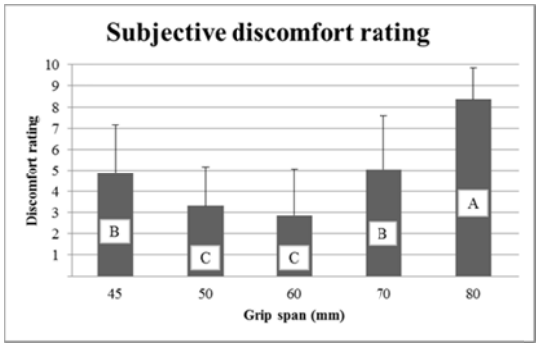

Figure 7. Subjective discomfort rating over grip spans

4. Discussion

본 연구에서는 플라이어의 파지 폭에 대한 최대 악력 및 각 손가락(검지, 중지, 약지, 소지)의 힘, 그리고 주관적 불편도를 측정하여 분석하였다.

실험에서 사용된 장비는 실제 작업에서 활용되는 플라이어를 개조한 것으로 헤드 부분과 손잡이 경계 부분을 변형하여 파지 폭이 조절 가능하며 동시에 손가락 별 악력을 측정할 수 있도록 만들어졌다. 악력 및 손가락 힘 측정을 위한 기존 연구에서의 개발 장비를 보자면, 먼저 각 손가락의 힘을 측정한 장비가 있다.

본 연구에서 사용된 실험장비는 실제 플라이어의 형태를 가지며 동일한 기능을 수행할 수 있기 때문에 실제 작업에서 각 손가락의 힘을 측정할 수 있다. 또한 파지 폭을 조절을 통해 실제적 연구와 실험적 연구를 동시에 수행할 수 있다.

본 연구에서 분석된 총 악력에 대한 파지 폭에 따른 최대 악력에 대한 기존 연구의 결과와 유사한 결과를 보인다. 파지 폭에 따른 각각의 손가락 힘 사이의 관계를 보자면, 총 악력은 60mm 의 파지 폭에서 345N 으로 가장 높은 악력을 보이며, 80mm 의 파지 폭에서 261N 으로 가장 낮은 악력을 보였다. 45mm 에서 60mm 까지 파지 폭 증가에 따라 총 악력은 증가하였고 이후 80mm 까지는 감소하였다. 이는 최대 악력을 발휘하는 데 적정 수준의 파지 폭이 존재한다고 할 수 있으며 일정 수준의 파지 폭 범위에서 벗어나면 최대 악력은 감소한다고 할 수 있다.

이 결과는 기존 A 형 손잡이에서 남성의 최적 파지 폭은 55~65mm 라는 Fransson and Winkel(1991)의 연구 결과와 유사하며, 75~80mm 가 최적의 파지 폭이라는 Greenberg and Chaffin(1977)의 결과와는 다소 차이가 있다. 하지만 실험을 위한 장비가 아닌 실제 사용하는 수공구를 이용한 결과인 Fransson and Winkel(1991)의 연구 결과와의 유사성을 볼 때, 실제 수공구에 적용 가능할 수 있을 것으로 생각된다.

다음으로 손가락 별 힘을 보면 가장 높은 힘을 보인 손가락은 중지(109N)이고, 다음으로 약지(84N), 검지(73N), 소지(45N) 순으로 각각 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 총 악력에 대해 각 손가락에서 발생하는 악력의 기여도는 모든 파지 폭에서 평균적으로 중지(35.0%), 약지(27.0%), 검지(23.5%), 소지(14.5%) 순으로 나타났다. 기존 연구에 따르면 총 악력에 대한 손가락 별 악력의 기여도는 중지가 가장 크고 소지가

가장 작으며 검지와 약지가 비슷하거나 차이를 보이는 경우가 존재한다. 본 연구에서는 약지의 기여도가 검지의 기여도보다 높게 나왔는데, 손가락 별 힘을 측정한 A-type 수공구의 Fransson and Winkel(1991)의 연구 결과에서 약지가 총 악력에 기여하는 기여도는 26.5%로 이 역시 기존 연구 결과와 유사하다.

주력 손과 비주력 손의 총 악력은 통계적으로 유의한 차이를 보였으며($p<0.001$), 최대 악력은 주력손 323N, 비주력 손 299N 으로, 주력 손에 대해 비주력 손의 악력이 92.6%의 악력을 나타냈다. 또한 손가락과 주력 손의 교호 작용은 통계적으로 유의하였다.

주관적 불편도 역시 파지 폭에 따른 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.001$). 가장 큰 불편도를 나타낸 파지 폭은 80mm 였으며, 45mm, 70mm 의 파지 폭은 그 보다 낮은 불편함을 느꼈다. 가장 불편함 없는 파지 폭 그룹은 50mm 와 60mm 이다. Figure 7 과 같이 주관적 불편도와 최대 악력 간의 관계를 보았을 때, 가장 불편도가 낮은 50mm 파지 폭에서 가장 큰 총 악력 값이 나타났으며, 주관적 불편도 높은 80mm 에서는 가장 작은 총 악력이 측정되었다. 이를 통해, 피실험자가 최대 악력 과업 수행 시 느끼는 불편도는 충분히 큰 힘을 발휘할 경우 조금 불편하다고 느끼고 본인이 낼 수 있는 힘을 제대로 발휘할 수 없을 경우 불편하다고 느끼는 것이라 할 수 있다.

5. Conclusions

본 연구는 상지 관련 근골격계 병력이 없는 성인남성 19 명을 대상으로 기존에 작업 현장에서 사용되는 플라이어를 각 손가락 별 악력을 측정할 수 있도록 개조하여 최대 악력 실험을 수행하였다. 실험을 통하여 총 악력 및 손가락 힘, 주력 손의 차이, 그리고 주관적 불편도를 파악하여 다음과 같은 결론을 도출하게 되었다.

총 악력은 50~60mm 의 파지 폭에서 통계적으로 가장 높게 나타났고, 손가락 별로 발휘하는 힘에 대해 통계적으로 유의한 차이가 존재하였다. 주력 손이 비주력 손보다 큰 악력을 나타냈으며, 주관적 불편도는 파지 폭에 따라 차이가 존재하여, 가장 큰 악력을 내는 60mm 파지 폭에서 가장 낮은 주관적 불편도를 나타내, 가장 큰 악력을 발휘하는 파지 폭에서 손이 편안함을 확인 할 수 있었다.

본 연구에서 개발된 플라이어는 실제 상용 제품을 개조하여 현장에서 수행하는 다양한 작업 동작에 대해 분석할 수 있는 장점이 있으며, 본 연구 결과는 그 기초 데이터로 최대 악력 수행시의 파지 폭을 확인하여 기존 연구와 비교할 수 있었다.

연구의 한계점으로는 사회적 제약으로 인해 비교적 양손의 악력 차이가 작은 왼손잡이의 특성을 고려하지 않았다는 점이다. 피실험자 수를 늘려, 주력 손이 오른손인 내국인을 대상으로 실험을 한 결과가 추가적으로 필요할 것이라 생각된다.

Acknowledgements

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MEST) (No. 2011-0016753).

References

Bechtol, C., The use of a dynamometer with adjustable handle spacings, *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 36, 820-832, 1954.

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 finger. In: B. Das and W. Karwowski eds. *Proceedings of the advances in occupational ergonomics and safety II*, 1–4 June 1997, Washington D.C.: IOS Press, 301–304, 1997.

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

Greenberg, L. and Chaffin, D., *Workers and their tools*, Midland, MI: Pendell Publishin, 1977.

Hazelton, F.T., Gary L. S., Andrean E. F., Ralph I. S., The influence of the wrist position on the force produced by the finger flexors. *Journal of Biomechanics*, 8, 301–306, 1975.

Kim, D. M. and Kong, Y. K.*, Development of the “Adjustable multi-finger force measurement (MFFM) systems” for research of handtool-related musculoskeletal disorders, *Applied Human Factors and Ergonomics, 2nd International Conference,* July 14-17, Las Vegas, USA, 2008.

Kong, Y. K., Kim, D. M., Lee, K. S., Jung, M. C., Handle evaluation for young and old age groups by Multi-Finger Force Measurement (MFFM) system, *17th World Congress on Ergonomics, IEA (International Ergonomics Association)*, August 9-14, Beijing, CHINA, 2009.

Kong, Y. K., Kim, D. M., Lim, C. M., Seo, M. T.*, Development of DFM(Double-Handle Force Measurement) System for Measuring Individual Finger Forces, *Fall Conference and General Meeting of Ergonomics Society of Korea*, October 21-22, Cheon-an, Korea, 2011.

Lee, S. J., Kong, Y. K., Lowe, B. D., and Song, S., Handle grip span for optimising finger-specific force capability as a function of hand size. *Ergonomics*, 52(5), 601-608, 2009.

Petersen, P., Petrich, M., Connor, H. and Conklin, D., Grip strength and hand dominance: challenging the 10% rule, *The American Journal of Occupational Therapy*, 43(7), 444-447, 1989.

Petrofsky, J., The effect of handgrip on isometric exercise performance. *Ergonomics*, 23, 1129–1135, 1980.

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