

손잡이가 휘 Plier의 작업 수행도와 선호도 평가

기 도 형

계명대학교 경영공학과
(2008. 1. 7. 접수 / 2008. 2. 12. 채택)

Performance and Preference for Handle Angles of Pliers

Dohyung Kee

Department of Industrial and Management Engineering, Keimyung University
(Received January 7, 2008 / Accepted February 12, 2008)

Abstract : This study aims to investigate the effect of handle angles of pliers on performances of task completion time and the number of errors, and subjective ratings of preference. For doing this, an experiment was conducted, where 14 subjects of 11 college-age male and three female students participated. In the experiment, plier handles angled at 0°, 10°, 20°, 30°, and 40° were used as independent variable, and the task completion time and the number of errors, and subjective ratings of preference as dependent variables. The subjects were instructed to do two tasks of bending an iron plate by 90° and cutting wires. The results revealed that while the performances of task completion time and the number of errors were not statistically different depending upon the handle angles of pliers, the subjective ratings of preference were significantly different. Based on the results, it is recommended that the pliers with handles bent by 20° be used in real situations.

Key Words : plier, handle, performance, subjective ratings

1. 서 론

조립 작업을 중심으로 작업에서 공구, 특히 진동 공구의 사용이 증가하고 있다. 실제 자동차 조립 라인의 경우 약 46%의 작업자가 진동 공구를 사용하고 있는 것으로 조사되었으며¹⁾, 수공구를 포함할 경우 이 보다 더 많은 작업자들이 공구를 사용하고 있을 것으로 추정된다. 작업 시 공구의 설계, 선택 또는 사용이 부적합하면 생산성 감소, 품질 저하, 손, 팔, 어깨에 과도한 생체역학적 스트레스로 인한 불편함, 통증, 피로 등의 부작용을 초래한다²⁾. 공구 사용 시 좋지 못한 손목 자세, 과도한 힘 발휘, 진동 등은 근골격계질환 유발 원인으로 작용하는 것으로 판단되고 있다. 한국산업안전공단³⁾의 조사에 의하면 질병/부상 발생의 작업관련 요인 중 동작 반복, 불안정한 작업 자세, 진동 및 온도로 발생한 근골격계 질환이 전체의 56.7%를 차지하였으며(Fig. 1), 이는 진동 및 수공구의 사용과 직·간접적으로 관련이 있다고 할 수 있다. 미국의 경우 산업재해의 약 10%가 공구 사용과 관련이 있으며⁴⁾, 수동 공구와 관련된

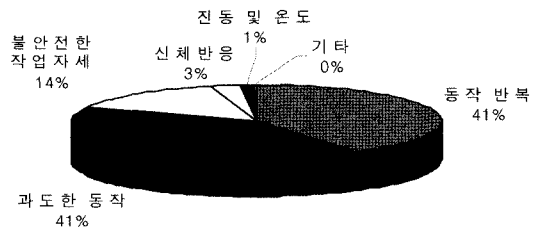


Fig. 1. Causes of musculoskeletal disorders.

재해로는 손, 손가락, 손목, 어깨 등의 상해가 많은 것으로 알려져 있다⁵⁾. 공구 사용과 관련된 근골격계 질환으로는 건액활막염/건염, 방아쇠수지증후군(trigger finger disease), 손목터널증후군(carpal tunnel syndrome), 백지병(white finger disease) 등을 들 수 있다. 따라서 공구가 생산성뿐만 아니라 산업 보건 관점에서 중요한 문제라 할 수 있다.

불안정한 자세로부터 발생하는 근골격계질환을 예방하기 위해서는 작업 시 중립 자세를 취하도록 하여야 한다. 공구 사용 시는 손목 동작이 많이 동원되며 굴곡, 신전, 요골/측골 편향 등의 손목 동작이 최소화되도록 하여야 한다. 이를 위하여 공구의 손잡이를 10-30° 정도 기울이는 방안에 대한 연구가

dhkee@kmu.ac.kr

진행되어 왔다. Emanuel et al.⁶⁾은 모든 공구와 운동 장비의 손잡이를 $19^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 정도 휘 것을 제안하였다. 손잡이가 직선일 경우 휘 손잡이에 비하여 손목의 측굴 편향이 2.6배 크게 일어나며, 작업 후 악력이 더 많이 감소한다⁷⁾. 공구 손잡이를 휘 경우 직선일 경우에 비하여 피로는 감소하고 선호도는 높아진다⁶⁾. 해머(hammer) 손잡이는 $10-40^{\circ}$ 정도 기울이는 것이 좋은 것으로 알려져 있다^{2,8-12)}. Schoenmarkin과 Marras^{9,10)}는 실험을 통하여 해머의 손잡이를 휘게 할 경우 일직선인 손잡이에 비하여 두드리는 힘(driving force), 정확도, 에러 수와 같은 작업 수행도, 피로도 및 신체 부위별 불편도에는 차이가 없으면서, 굴곡, 신전, 요골 및 측굴 편향과 같은 손목 동작은 줄어들음을 보였다. 그들은 실험 결과에 근거하여 해머 손잡이가 $20-40^{\circ}$ 정도 휘 것을 권장하였다.

앞서 살펴본 바와 같이 공구 손잡이는 휘게 하는 것이 좋으며, 공구 중 해머에 대해서는 실험적 연구가 이루어져 손잡이를 휘는 정도가 알려져 있다. 그러나 산업 현장에서 많이 사용되고 있는 공구의 하나인 plier에 대한 실험적 연구가 부족하며, 한국인에 대한 자료는 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 공구 설계의 기초 자료 마련을 위하여 plier를 대상으로 손잡이를 휘게 할 때, 작업 수행도와 선호도 등의 사용성을 실험적으로 평가하고자 한다.

2. 방법

2.1. 피실험자

본 연구의 실험에는 14명의 남녀 대학생 피실험자가 참여하였으며 이들은 남자 11명, 여자 3명으로 구성되었다. 피실험자 모두 과거에 plier 사용에 문제가 될 수 있는 손, 팔 관련 근골격계질환 병력이 없었다. 피실험자의 인체 정보는 다음 Table 1과 같다. 손 길이(hand length), 손 너비(hand width) 및 악력은 Size Korea 사업에서 제시한 측정 방법^{13,14)}을 따랐으며, 악력은 주로 사용하는 손에 대한 값이다.

2.2. 실험 계획

독립변수로는 plier 손잡이의 휘 각도로 하였다.

각도는 plier의 중심선과 두 손잡이의 중심선이 이루는 각도로 정의하였다(Fig. 2). 실험에서 사용한 손잡이 각도는 수공구 손잡이에 대한 연구에서 제시한 각도 $10-40^{\circ}$ 를 기준으로, 작업이 가능한 최대 범위를 고려하여 정하였다. 손잡이를 $60-70^{\circ}$ 이상 휘면 손잡이가 plier 머리 부분과 거의 직각을 이루어 정상적 작업이 어렵게 된다. 이를 고려하여 본 연구에서는 plier 손잡이 각도 $0-40^{\circ}$ 사이를 10° 간격으로 나누어 실험에 사용하였다. 손잡이가 휘 plier는 손잡이가 직선인 plier(길이: 21cm, 손잡이 간격: 5.0cm, 무게: 351.60g)를 구입하여 철공소에 의뢰하여 직접 제작하였다. 실험에 사용한 plier는 Fig. 3에 나와 있다.

plier는 일반적으로 철로 된 물체를 구부리거나 절단하는 작업에 사용되므로, 본 연구에서도 철판을 구부리는 작업과 철사를 절단하는 작업을 실험에 사용하였다. 철판은 두께 0.5mm, 가로 120cm, 세로 12cm인 것을, 철사는 직경이 0.6mm이고 길이가 60cm인 것을 사용하였다. 철판은 두께가 0.5mm인 큰 철판을 구입하여 위에 제시한 크기에 맞게 절단하여 사용하였다.

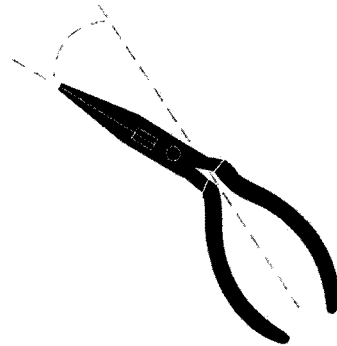


Fig. 2. Definition for angle of plier handle.



Fig. 3. Pliers used in the experiment.

Table 1. Information on subjects

	age	stature	body weight	hand length	hand width	grip strength	preferred hand
male	25.2yrs (1.0)	177.6cm (3.7)	73.9kg (10.6)	18.9cm (1.1)	8.4cm (0.4)	410.7N (68.5)	left: 1(male) right: 13
female	21.yrs (1.7)	166.3cm (5.7)	58.3kg (5.5)	18.1cm (1.2)	7.9cm (0.8)	217.4N (51.3)	

2.3. 실험 절차

실험은 철판 구부리는 작업을 먼저 하고 철사를 절단하는 작업을 수행하는 순서로 진행되었다. 실험자는 두 개의 철재 봉에 절단된 철판을 피실험자의 팔꿈치 높이보다 5-10cm 정도 낮은 높이로 철사로 묶어 고정한다. 피실험자에게 철판을 구부리는 방법을 설명하고 연습을 하게 한다. 피실험자가 연습이 충분하다고 신호를 보내면 피실험자의 신호에 따라 철판을 90° 구부리는 작업을 수행한다. 실험에서는 피실험자가 편한 방법 및 자세로 철판을 구부리는 작업을 수행하게 하였다. 실험 장면의 예가 Fig. 4에 나와 있다. 철판을 구부리는 위치는 미리 10cm 간격으로 10개가 눈에 잘 띄게 붉은색으로 표시되어 있다. 철판을 구부리는 작업이 끝나면 실험자는 고니오미터를 이용하여 철판이 구부러진 정도를 측정하여, 구부러진 각도가 80° 이하면 에러로 간주한다. 사용하는 plier의 각도는 피실험자별로 랜덤하게 제시된다. 철판 구부리는 작업에서 종속변수는 수행시간, 에러 수 및 선호도로 하였다. 비율 척도(ratio scale)의 특성을 가진 값을 얻기 위하여 선호도를 자신의 scale로 답하게 하였다.

철사 절단 작업은 좌식 작업대(높이: 72cm) 앞의 의자에 앉아 팔을 작업대에 올려놓은 자세로 수행한다. 철사에는 미리 5cm 간격으로 절단 위치가 표시되어 있으며, 피실험자는 전체 60cm 중 손으로 잡는 부위를 제외한 50cm 부분에 대하여 10번의 절단 작업을 수행한다. 철판 구부리기에서와 같이 피실험자가 편하게 느끼는 방법 및 자세로 절단 작업을 수행하게 하였다. 사용되는 plier의 손잡이 각도는 랜덤하게 제시되며, 피실험자별로 각 plier 손잡이 각도에 대하여 10번씩 총 50회의 절단 작업을 수행한다. 철사 절단의 종속변수는 수행시간과 선호도로 하였다.



Fig. 4. Experimental scene.

3. 결 과

3.1. 수행 시간

철판 구부리는 실험과 철사 절단 실험에 소요된 시간에 대한 plier 손잡이 각도의 영향을 알아보기 위하여 분산분석을 실시하였다(Table 2). 분산분석에서는 plier 손잡이 각도가 수행시간에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않음을 보였다. 성별 수행시간은 Fig. 5에 나와 있으며 두 작업 모두에서 여성의 수행시간이 남성에 비하여 통계적으로 유의하게 크게 나타났다($p < 0.01$ 혹은 $p < 0.05$). 남녀 간 수행시간 차이는 철판 구부리는 작업과 철사를 절단하는 작업 모두에서 plier 손잡이가 20°일 때 가장 작았고, 20°보다 작아지거나 커질수록 그 차이는 커졌다. 남녀 성별 수행시간과 전체 수행시간은 두 작업에서 모두 20°에서 가장 작게 나타났다. 이를 반영하여 분산분석에서 두 작업 모두에서 피실험자 성별과 손잡이 각도 간의 교호작용은 통계적으로 유의하지 않았다($p > 0.10$).

Table 2. ANOVA table for performance of task completion time

task	factor	d.o.g	Mean square	F value	P value
bending iron plate	handle angle(A)	4	73.54	1.10	>0.10
	gender(G)	1	1,587.24	23.73	<0.001
	A*G	4	75.43	1.13	>0.10
cutting wire	handle angle(A)	4	157.22	1.216	>0.10
	gender(G)	1	840.40	6.48	<0.05
	A*G	4	44.25	0.34	>0.10

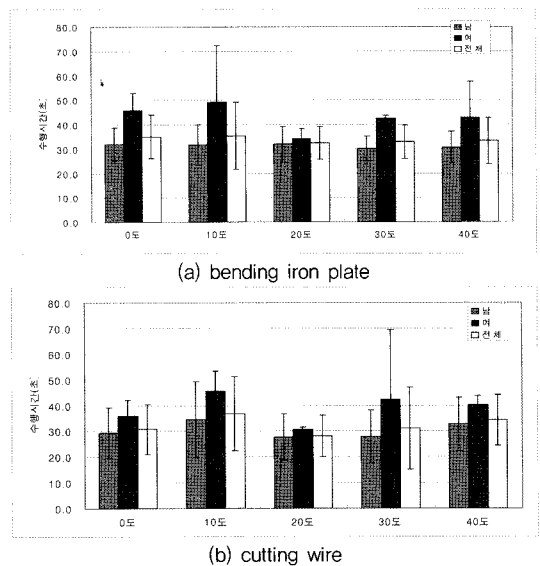


Fig. 5. Task completion time depending on angle of plier handle.

SNK(Student-Newman-Keuls) 다중 범위 검정(multiple range test)에서도 철판 구부리기와 철사 절단 작업 모두에서 plier 각도에 관계없이 유의수준 5%에서 한 그룹으로 묶을 수 있는 것으로 나타났다. 이상에서 볼 때 본 연구에서 행한 두 작업의 수행시간은 남녀 성별 간에는 차이가 있으나, plier 각도에 는 영향이 없음을 알 수 있다.

3.2. 에러 수

철판 구부리는 작업에서 구리는 정도가 80° 이하면 에러로 간주하고 이를 카운트하였다. 철판 구부리는 작업에서 관찰된 에러 수에 대한 분산분석 결과는 다음 Table 3에 나와 있으며, 에러 수는 plier 손잡이 각도에 영향을 받지 않음을 보이고 있다. 에러 수는 피실험자 성별 효과 및 손잡이 각도와 성별 간 교호작용도 유의하지 않은 것으로 나타났다 (p>0.10).

plier 손잡이 각도에 따른 에러 수 자료는 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 plier 손잡이 각도가 0°, 10°, 40°에서는 여자의 에러 수가, 20°와 40°에서는 남성의 에러 수가 많았다. 그러나 전체적으로 에러 수의 성별 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(P>0.10).

3.3. 선호도

본 연구에서는 실험에서 각 시행이 끝난 후 선호도를 피실험자 각자의 scale로 답하게 하였다. 피실험자별로 사용한 scale이 다를 수 있으므로 이를 하나의 scale로 통일하기 위하여, 다음과 같은 최소-최대 변환(min-max transformation)을 피실험자별로

Table 3. ANOVA table for the number of errors

factor	d.o.g	Mean square	F value	P value
handle angle(A)	4	3.42	0.84	>0.10
gender(G)	1	2.37	0.58	>0.10
A*G	4	6.47	1.60	>0.10

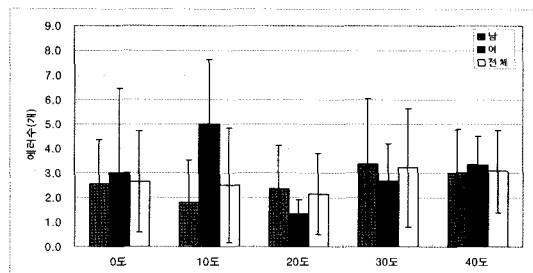


Fig. 6. The number of errors depending on angle of plier handle.

수행하여 정규화된 값을 구하여, 자료 분석에는 이 값을 사용하였다.

$$\text{정규화된 값} = \frac{\text{선호도} - \text{최소값}}{\text{최대값} - \text{최소값}}$$

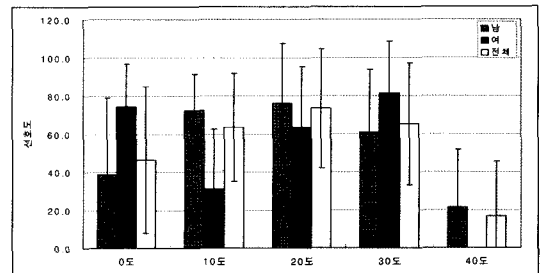
여기서 최대 및 최소값은 각 피실험자별 선호도의 최대 및 최소값임.

plier 손잡이 각도가 선호도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 분산분석을 실시하였다(Table 4). 철판 구부리기와 철사 절단 작업 모두에서 plier 손잡이 각도에 따라 선호도가 유의하게 차이를 보였다. 성별 효과는 본 연구에서 채택한 두 작업 모두에서 유의하지 않은 것으로 나타났으며, 손잡이 각도와 성별 간 교호작용은 철판 구부리기 작업에서만 유의수준 10%에서 유의함을 보였다.

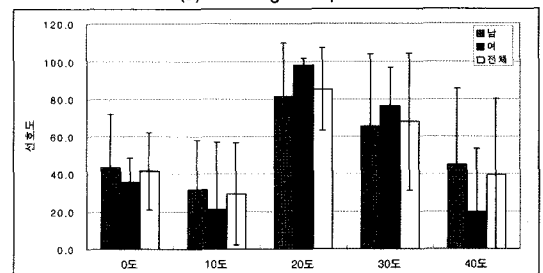
plier 손잡이 각도에 따른 선호도는 Fig. 7에 나와 있으며, 성별 간 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다. 또 성별 간에 통계적으로도 유의한 차이를 보이지 않았다

Table 4. ANOVA table for preference

task	factor	d.o.g	Mean square	F value	P value
bending iron plate	handle angle(A)	4	5,664.95	6.03	<0.001
	gender(G)	1	170.08	0.18	>0.10
	A*G	4	2,295.70	2.45	<0.10
cutting wire	handle angle(A)	4	7,077.03	6.97	<0.001
	gender(G)	1	127.12	0.13	>0.10
	A*G	4	678.22	0.67	>0.10



(a) Bending iron plate



(b) cutting wire

Fig. 7. Preference depending on angle of plier handle.

Table 5. SNK multiple range test for preference

task	preference order (in descending order)	grouping
bending plate	20°-30°-10°-0°-40°	(20°), (0°, 10°, 30°), (40°)
cutting wire	20°-30°-0°-40°-10°	(20°, 30°), (0°, 40°), (10°)

다. 철판 구부리기와 철사 절단 작업에서 모두 plier 손잡이 각도가 20°일 때 선호도가 가장 높았다. 철판 구부리기 작업에서는 40°일 때, 철사 절단 작업에서는 10°일 때 선호도가 가장 낮았다. 철판 구부리기 작업에서 남성 피실험자는 손잡이 각도가 20°-10°-30°-0°-40° 순으로 선호하였으나, 여성 피실험자는 30°-0°-20°-10°-40° 순으로 선호하였다. 이러한 선호도 순서의 차이는 철판 구부리기 작업의 분산분석에서 손잡이 각도와 성별의 교호작용이 유의한 것과 일치한다.

SNK 다중 범위 검정에서 철판 구부리기 작업의 선호도는 20°, 0°-10°-30°와 40°의 세 그룹으로 나누어졌다(Table 5). 철사 절단 작업에서는 20°-30°, 0°-40°와 10°의 세 그룹으로 나눌 수 있음을 보였다.

4. 토 의

본 연구에서 plier 손잡이를 휘게 할 경우 손잡이가 직선일 경우에 비하여 수행시간, 에러 수는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나 손잡이가 흰 plier를 선호하는 것으로 나타났다. 이는 공구 손잡이를 10-40° 휘게 하는 것이 근골격계질환의 예방에 좋다는 기존 연구의 결과^{2,6,8-10}와 일치한다.

Schoenmarkin과 Marras⁹⁾는 해머를 이용한 실험에서 본 연구에서 사용한 종속변수인 에러 수가 손잡이 각도에 영향을 받지 않음을 보여, 본 연구의 결과와 일치함을 보였다. 이들은 주관적 척도로 신체 부위(목, 어깨, 윗팔, 팔, 등, 팔꿈치, 손목과 손) 불편도를 측정하였으며, 해머 손잡이 각도가 불편도에 유의한 영향을 미치지 않음을 보였다. 본 연구에서는 주관적 척도로 선호도를 사용하였으며, plier 손잡이 각도에 따라 선호도가 유의한 차이를 보여 Schoenmarkin과 Marras(1989)의 연구 결과와 차이를 보였다. 또한 Schoenmarkin과 Marras^{9,10)}는 해머 손잡이 각도를 20-40° 휘는 것을 권장하였으나, 본 연구에서는 통계적 유의하지는 않았으나 plier 손잡이를 20° 휘게 할 때 수행시간이 가장 짧고 에러 수가 적으며, 통계적으로 유의하게 선호도가 높게 나타나 Schoenmarkin과 Marras^{9,10)}와 차이를 보였다. 이는 각 연구에서 사용한 주관적 척도인 불편도와 선호도의

의미 차이와 공구 및 수행 작업의 차이 때문으로 보인다. plier 손잡이를 다룬 본 연구와 해머를 다룬 Schoenmarkin과 Marras^{9,10)}의 연구 결과의 이러한 차이는, 공구 종류에 관계없이 손잡이 각도를 일정한 수준으로 휘게 하는 것은 잘못임을 보여준 것이라 하겠다. 즉, 공구 종류에 따른 특성을 고려하여 손잡이를 휘는 정도를 달리하여야 작업 수행도, 선호도 등을 높게 유지할 수 있음을 의미한다고 할 수 있다.

Cacha²⁾는 근거 자료의 제시 없이 plier의 손잡이 각도를 30-40°로 하는 것을 권장하였다. 이는 plier 손잡이 각도가 20°일 때가 수행시간, 에러 수, 선호도가 가장 좋음을 보인 본 연구의 결과와 차이를 보였으나, Cacha²⁾의 권장치에 대한 근거를 찾을 수 없어 그 차이의 원인을 논하기는 어렵다.

Table 2의 분산분석에서 plier 손잡이 각도에 따른 철판 구부리기와 철사 절단 작업 수행시간이 남녀 간에 통계적 유의한 차이를 보인 것은, 여성 피실험자들이 본 연구에서 수행한 작업과 같은 공구 사용 작업에 노출된 경험이 적기 때문으로 보인다. 그러나 수행시간에 대한 성별과 손잡이 각도 간의 교호작용이 유의하지 않아, 남녀 피실험자가 수행시간에 대하여 같은 경향을 보였다. 철판 구부리기 작업의 선호도에서 손잡이 각도와 성별의 교호작용이 유의하게 나타나, plier를 이용하여 철판 구부리기와 같은 작업을 수행할 때 남녀 성별 효과를 고려할, 즉 손잡이가 흰 정도를 달리할 필요가 있음을 보였다. 수행시간 외에 본 연구에서 채택한 종속변수인 에러 수, 선호도에서는 성별 효과가 유의하지 않았다.

5. 결 론

본 연구에서는 plier 손잡이 각도에 따른 철판 구부리기, 철사 절단 작업에 소요된 시간, 에러 수, 선호도를 실험적으로 다루었다. 수행시간, 에러 수의 객관적 척도는 plier 손잡이 각도에 따라 유의한 차이를 보이지 않았으나, 주관적 척도로 사용한 선호도는 손잡이 각도에 따라 유의한 차이를 보였다. SNK 다중 범위 검정에서 철판 구부리기 작업에서는 손잡이 각도가 20°일 때, 철사 절단 작업에서는 20-30°일 때가 선호도가 가장 높게 나타났다. 두 작업 모두에서 통계적으로 유의하지는 않았으나 수행시간, 에러 수가 손잡이 각도가 20°일 때가 가장 짧거나 적으며, 선호도는 유의하게 높게 나타났다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 plier 손잡이 각도는 특정 값으로는 20°가, 범위로는 20-30°가 적절한 것으로 제안한다.

본 연구의 결과는 plier 손잡이 각도에 대한 실험적 연구가 부족한 상황에서, 실험 결과를 바탕으로 plier 손잡이 각도에 대한 권장치를 제시하여 산업 현장에서 plier 제작 혹은 변형의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 실제 공구 사용 경험이 많지 않은 남녀 대학생을 하였으나, 산업 현장에서 공구를 사용하는 작업자를 대상으로 하는 추후 연구가 요망된다.

참고문헌

- 1) 정민근, 기도형, 이인석, 최경임, 어홍준, 근골격계질환 유해요인조사 보고서, 기아자동차(주), 2004.
- 2) C.A. Cacha, Ergonomics and safety in hand tool design, Lewis Publishers, New York, 1999.
- 3) 한국산업안전공단, 산업재해원인조사, 2003.
- 4) A. Mital and F. Aghazadeh, "A review of hand tool injuries", In: Ergonomics International 85, Taylor and Francis, London, pp. 85~87, 1985.
- 5) Bureau of Labor Statistics, Injury and illness cases-part of body affected in hand tools, US Department of Labor, 1995-2001.
- 6) J. Emanuel, S. Mills, J. Bonnett, "In search of a better handle", Proceedings of the Symposium: Human Factors and Industrial Design in Consumer Products, Melford, MA, 1980.
- 7) R. Knowlton, J. Gilbert, "Ulnar deviation and short-term strength reductions as affected by a curve-handled ripping hammer and a conventional claw hammer", Ergonomics, Vol. 26, pp. 173~179, 1983.
- 8) R. Krohn, S. Konz, "Bent hammer handles", Proceedings of the Human Factors Society, 26th Annual meeting, Santa Monica, CA, pp. 413~417, 1982.
- 9) R.W. Schoenmarklin, W. Marras, "Effects of handle angle and work orientation on hammering: I. Wrist motion and hammering performance", Human Factors, Vol. 31, No. 4, pp. 397~411, 1989.
- 10) R.W. Schoenmarklin, W. Marras, "Effects of handle angle and work orientation on hammering: II. Muscle fatigue and subjective ratings of body discomfort", Human Factors, Vol. 31, No. 4, pp. 413~420, 1989.
- 11) S. Konz, "Bent hammer handles", Human Factors, Vol. 28, pp. 317~323, 1986.
- 12) W.S. Marras, T.H. Rockwell, "An experimental evaluation of method and tool effects in spike manual use", Human Factors, Vol. 28, pp. 267~281, 1986.
- 13) 산업자원부 기술표준원, 제5차 한국인 인체치수 조사 자료-직접 측정에 의한 인체 치수 통계, 2005.
- 14) 산업자원부, 한국인에 대한 근력 측정 조사 사업, 2007.