Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 27, No. 2 pp.49-57, May 2008

손잡이가 휜 Plier의 작업 수행도, 손목 동작과 만족도 평가

기 도 형

계명대학교 경영공학과

Performance, Wrist Motion and Subjective Rating for Handle Angle of Pliers

Dohyung Kee

Department of Industrial & Management Engineering, Keimyung University, Taegu 704-701

ABSTRACT

This study aims to investigate the effect of handle angles of pliers on performance, wrist motion and subjective rating of satisfaction. An experiment was conducted, in which handle angle of pliers was used as independent variable and 14 subjects participated. Based on the literature survey, plier handles angled at 0°, 10°, 20°, 30° and 40° were adopted in the experiment. The subjects were instructed to bend iron plates by 90° and to cut wires as soon as possible. The results revealed that 1) handle angles of pliers have significant effect on wrist motion and satisfaction(p<0.0001); 2) handle angles of pliers did not affect performance of completing tasks irrespective of types of tasks done in the study; 3) in the initial stage of windup, plier with handle angled at 20° produced the least wrist motion of deviation in task of bending iron plates, while plier with handle angled at 40° did in task of cutting wires; 4) degree of satisfaction was maximized when handle of pliers was bent by 20° in both tasks. On the basis of the results, it is recommended that handle of pliers be bent by 20~30° for reducing musculoskeletal disorders related to pliers.

Keyword: Plier, Plier handle, Performance, Wrist motion

1. 서 론

노동부의 2005년도 산업재해 통계 자료를 보면 신체부담작업과 요통의 근골격계질환이 2,901건 발생하여, 전체 직업병의 약 45.3%를 차지하였다(노동부, 2006). 근골격계질환이 2005년에 발생한 직업병 6,400건의 절반 가까이를 차지하고 있어, 직업병 예방을 위한 노력이 근골격계질환 분야에 집중되어야 함을 보이고 있다. 근골격계질환의 발생 원인으로는 반복적인 동작 45.4%, 부자연스러운 자세 12.2% 등 자세와 동작 반복이 약 57.6%를 차지하는 것으로 나타났다. 근골격계질환의 발생 부위별로는 체간부 36.8%에 이어 상지 부위가 27.4%로 두 번째로 높고, 상지 중에서는 손, 손가락, 손목 부위가 51.7%로 반 이상을 차지하고 있다(한국산업안전공단, 2005). 이상의 자료와 자동차, 전자 제품 등의 조립 라인에서 공구를 사용하는 반복 동작으로 많은 작업이 이루어지고 있는 현실을 고려할 때, 많은 근골격계질환이 공구 사용과 관련이 있을 것으로 추정된다.

*본 연구는 2006년도 계명대학교 비사연구기금으로 이루어졌음.
교신저자: 기도형
주 소: 704-701 대구광역시 달서구 신당동 1000, 전화: 053-580-5319, E-mail: dhkee@kmu.ac.kr

실제 미국의 경우 23개 주의 산업 사고(industrial casualty) 보험 조사에 의하면 작업관련 상해의 약 9%가 수공구 사용과 관련이 있으며, 수공구관련 상해의 79%가 수동(non-powered) 수공구에 의해 발생한 것으로 조사되고 있어 이를 뒷받침하고 있다(Aghazadeh and Mital, 1987).

손, 손목과 관련한 근골격계질환을 예방하기 위해서는 공구 사용 시 굴곡-신전, 요골-측골편향과 같은 손목 동작이 최소화되도록 공구를 설계하여야 한다. 이를 위하여 일반적으로 손목이 중립 자세를 유지할 수 있도록 공구 손잡이를 휘게 하는 것이 좋은 것으로 알려져 있다(Bridger, 1995; Chaffin, Andersson and Martin, 1999; Koremer, Kroemer and Kroemer-Elbert, 1994; Pulat, 1997). 그 이유는 공구 사용 시 손목이 중립 자세로부터 벗어나면 전완 근육의 건(tendon)이 서로 압박을 가하고, 손목 뼈와 굴곡근의 건막(flexor retinaculum)을 압박하여 불편, 피로를 유발하고, 나아가 손목관련 질환을 유발할 수 있기 때문이다(Tichauer, 1978).

공구, 특히 수공구의 손잡이를 기울이는 정도에 관한 연구가 다수 이루어져 왔는데, Emanuel et al.(1980)은 모든 공구와 운동 장비의 손잡이를 19°±5° 정도 휠 것을 제안하였다. 다양한 공구 중 해머(hammer)에 대한 연구는 Schoenmarklin과 Marras(1989)를 비롯한 여러 연구자들에 의하여 실험적 연구가 이루어져 왔다. 해머 손잡이는 10~40° 정도 기울이는 것이 좋은 것으로 알려져 있다(Cacha, 1999; Granada and Konz, 1981; Konz, 1986; Krohn and Konz, 1982; Schoenmarklin and Marras, 1989a,b). Hsu와 Chen(2000)은 실험적 연구를 통하여 줄(file)의 손잡이는 60° 휘는 것이 우수함을 밝혔다. Fogleman et al.(1993)은 가금류의 뼈를 발라내는 작업을 테이블에서 할 때는 손잡이 축과 -30°, 매달려 있는 상태에서 작업을 할 때는 30° 휜 손잡이를 가진 칼이 가장 적절하다고 하였다. 같은 연구에서 칼 손잡이 직경은 유의하지 않은 것으로 나타났다. 본 연구와 직접적으로 관련된 연구로 Dempsey et al.(2002)은 plier 손잡이를 휘게 하면 생산성에는 변화가 없는 반면 손목 자세는 개선된다고 하였다. Duke et al.(2004)은 손잡이가 일직선인 plier와 휜 plier를 대상으로 한 실험에서 휜 plier를 사용하면 작업 수행도가 4.9~5.3% 향상되며, 어깨 편향 동작과 손목 측골편향 동작이 각각 50%, 12~22% 좋아짐을 보였다. Kluth et al.(2000)은 plier 손잡이의 설계, 크기, 모양, 미끄럼 방지 가드(guard)와 손에의 적합성(suitability)을 EMG와 주관적 평가를 통하여 평가하였다. You et al.(2005)은 전통적 Cleco plier와 손잡이에 고무 혹은 torsion spring을 부착한 3종류의 plier를 3 수준의 작업대 각도에 대하여 EMG, 손의 불편도와 설계 만족도 관점에서 평가하였다.

위에서 살펴본 바와 같이 해머, 줄, 칼의 손잡이 각도에 대한 실험적 연구는 수행되어져 왔으나, plier에 대해서는 손잡이 설계, 모양, 손잡이 표면 부착물 재질 등에 대한 연구는 있으나 손잡이 각도에 대해서는 휘게 하는 것이 좋다는 것 외에는 구체적 가이드라인이 부족한 실정이다. Dempsey et al.(2002)과 Duke et al.(2004)은 손잡이가 휜 plier를 다루었으나, 이들 연구에서는 손잡이가 휜 것과 그렇지 않은 것의 비교에 그치고 있고 손잡이 각도도 밝히지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 산업 현장 및 생활 주변에서 해머와 더불어 많이 사용되는 공구 중의 하나인 plier의 바람직한 손잡이 각도를 실험적 연구를 통하여 제시하고자 한다. 본 연구의 결과는 plier 설계의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 방 법

2.1 피실험자

본 연구의 실험에는 plier 사용과 관련된 손 및 팔 부위의 근골격계질환 병력이 없는 건강한 14명의 남녀 대학생이 참여하였다. 성별로는 11명의 남자, 3명의 여자로 구성되었으며, 남자 1명을 제외한 모두가 오른손잡이였다. 피실험자 정보는 다음 표 1과 같다.

표 1. 피실험자 정보

	연령*	신장*	체중*	사용 손	시력
남	25.2세 (1.0)	177.6cm (3.7)	73.9kg (10.6)	왼손잡이: 1명(남) 오른손잡이: 13명	모두 교정 시력 1.0 이상
여	21.0세 (1.7)	166.3cm (5.7)	58.3kg (5.5)		

* 괄호 앞의 값은 평균을, 괄호 안의 값은 표준편차를 의미함.

2.2 실험 계획

본 연구의 실험에서 plier 손잡이의 휜 각도 및 손목편향 정도 측정 시점을 독립변수로 하였다. Plier 손잡이 각도는 plier 축과 손잡이가 이루는 각으로 정의하였으며, 다음 그림 1과 같다. 공구관련 기존 연구(Cacha, 1999; Emanuel et al., 1980)와 50°를 넘으면 사용이 어려운 현실적 제약을 고려하여 손잡이 각도는 0°, 10°, 20°, 30°, 40°의 5 수준을 사용하였다. 실험은 완전요인계획법(full factorial design)으로 설계되었으며, 실험에서 실험 처치는 피실험자에게 랜덤하게 제시되었다. 손잡이가 휜 plier는 손잡이가 일직선인 보통의 plier를 구입하여 철공소에서 제작하였다.

그림 1. Plier 손잡이 각도 정의

Plier가 주로 철로된 물체를 구부리거나 끊기와 같은 작업에 사용되므로, 본 연구에서도 철판 구부리기 작업과 철사 끊기 작업을 실험 대상 작업으로 하였다. 종속변수는 철판 구부리기 작업에서는 실험에서 제시한 작업을 수행하는데 소요된 시간, 손목편향 동작 정도, plier 동작범위 및 만족도로, 철사 끊기 작업에서는 수행시간, 손목편향 정도 및 만족도로 하였다.

2.3 실험 절차

실험은 철판 구부리기 작업, 철사 끊기 작업의 순서로 진행되었으며, 두 작업에 같은 피실험자가 참여하였다. 철판 구부리기 작업이 끝나면 실험자가 철사 끊기 작업을 준비하는 동안(약 5~10분 정도) 피실험자는 휴식을 취하였다. 두 작업 수행 시 5 종류의 plier가 임의의 순서로 제시되었다. 실험을 수행하는 절차는 다음과 같다.

2.3.1 철판 구부리기

철판 구부리기 작업에서는 두께 0.5mm, 가로 120cm, 세로 12cm인 철판을 10cm 간격으로 90° 구부리는 작업을 10회 수행하게 하였다. 철판 두께를 0.5mm로 한 것은 이보다 얇을 경우 길이가 120cm인 것을 수평으로 유지하기가 힘들고, 두꺼울 경우는 plier를 사용하여 인력으로 구부리기 어렵기 때문이다. 큰 철판을 구입하여 위의 규격에 맞게 절단하여 사용하였다. 철판은 두 개의 철재 봉으로 피실험자의 팔꿈치 높이보다 약 5~10cm 정도 낮은 높이가 되도록 수평으로 고정한다(그림 2 참조). 철판을 90° 구부리는 작업은 작업 시 팔, 몸통 및 다리의 동작이 커 입식으로 이루어졌다. 철판 구부리기 작업은 PCB 기판을 제작하는 D공단의 한 전자회사에서 일어나는 작업을 시뮬레이션한 것이다.

철판을 구부리는 위치는 철판에 10cm 간격으로 10곳 미리 표시되어 있다. 피실험자는 본 실험 전에 철판을 구부리는 작업에 대한 연습을 하며, 연습이 충분하다고 실험자에게 알리면 본 실험이 시작된다. 실험자의 신호에 따라 실험이 시작되며 피실험자는 가능하면 빠른 시간 내에 철판 구부리는 작업을 마치도록 하였다. 손목 동작 분석을 위하여 실험 장면은 캠코더(camcorder)로 촬영되었으며, 스톱워치(stop watch)로 수행시간을 측정하였다. 각 plier에 대한 실험이 끝난 후 plier에 대한 만족도를 피실험자 자신의 scale로 답하게 하였다. 모든 plier에 대한 만족도 평가가 끝난 후 피실험자 자신이 만족도 평가 시 사용한 scale에 대한 의미를 9개의 verbal category-극히 불만족, 매우 불만족, 불만족, 약간 불만족, 보통, 약간 만족, 만족, 매우 만족, 극히 만족-로 평가하게 하였다. 이는 막연한 수치로 표현되는 만족도를 의미있는 단어에 대응시켜 만족도의 정도를 쉽게 가늠하게 하기 위한 것이다.

그림 2. 철판 구부리기 실험 장면

손목 동작 분석에서는 plier 손잡이 각도와 측정 시점에 따른 손목의 요골 및 측골편향 정도를 측정하였다. 편향 동작은 초기 준비 단계(철판 구부리기 작업을 하기 위하여 plier를 철판에 물리고 작업을 시작하려고 할 시점), plier 머리 부분이 수평선과 45° 및 90°를 이루는 시점에서 측정되었다. 편향 동작은 동일한 시점에서 측정하는 것이 바람직하나 각 실험 반복 간 및 처치(treatment) 간 수행시간이 각기 다르고 동기화(synchronization)가 어렵기 때문에, 시간 간격이 아닌 plier 머리 부분의 위치를 기준으로 편향 동작을 측정하였다. Plier 머리 부분이 수평선과 45° 및 90°를 이루는 시점에서 편향 동작을 측정한 이유는 이러한 각도가 육안으로 구분하기 쉽기 때문이었다. 초기 준비 단계와 철판을 구부리는 마지막 단계, 즉 종점에서 손목편향 정도가 plier 손잡이 각도에 따라 다를 것으로 예상되며, 따라서 plier의 동작범위(range of motion)도 다를 것으로 추정되어 이를 종속변수로 측정하였다. Plier의 동작범위는 철판 구부리기 작업의 시점과 종점에서의 plier 머리 부분이 이루는 각도로 정의하였다.

2.3.2 철사 끊기

철사 끊기 작업에서는 직경이 0.6mm인 철사를 끊는 작업을 10회 수행하도록 하였다. 긴 철사를 구입하여 60cm

길이로 자른 다음 끊는 작업 수행 시 한 손으로 잡는 부분을 제외한 앞쪽 50cm 부분에 5cm 간격으로 끊을 위치를 10곳 표시하였다. 철사 끊기 작업은 작업 시 신체 부위의 움직임이 거의 없으며 입식에 비하여 자세의 안정에 도움이 되어 생리적 부하가 작은 좌식으로 이루어졌다. 철사 끊기 작업은 좌식으로 작업대(높이: 72cm)에 팔을 올려놓고 한쪽 손으로 철사를 잡고 주로 사용하는 손으로 plier를 사용하는 자세로 수행되었다(그림 3 참조). 철판 구부리기 작업에서와 같이 피실험자는 본 실험 전에 충분한 연습을 하게 하였다. Plier 손잡이 각도는 랜덤하게 제시되었으며, 각 plier로 10회의 철사 끊기 작업을 수행하였다. 철사 끊기에 소요된 수행시간, 손목편향 동작 및 plier에 대한 만족도를 종속변수로 사용하였다. 만족도는 각 plier에 대한 실험이 끝난 후 피실험자 자신의 scale로 답하게 하였다. 9개의 verbal category에 대한 값은 철판 구부리기에서 구한 값을 같이 사용하였다.

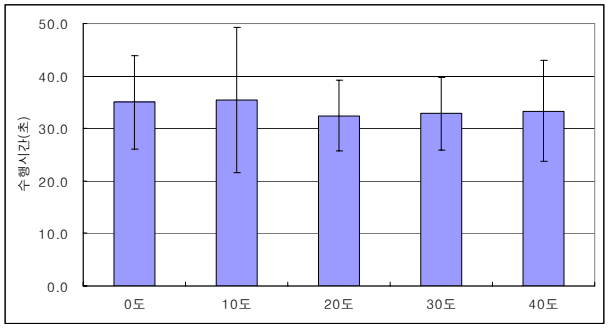
손목 동작 분석을 위하여 실험 장면을 캠코더로 촬영하였으며, plier 손잡이 각도와 측정 시점에 따른 손목편향 동작을 측정하였다. 손목편향 동작은 철사 끊기 작업에 소요된 시간을 5등분하여 시점, 중간 3 시점 및 종점과 끊겨진 철사를 떨어뜨리기 위하여 손잡이를 최대로 벌릴 때 측정하였다. 철판 구부리기에서처럼 plier의 위치가 아닌 수행시간의 등간격 시점에 편향 동작을 측정한 것은, 철사 끊기는 철판 구부리기와 달리 움직임이 거의 없는 정적 자세로 이루어지기 때문이다.

그림 3. 철사 끊기 실험 장면

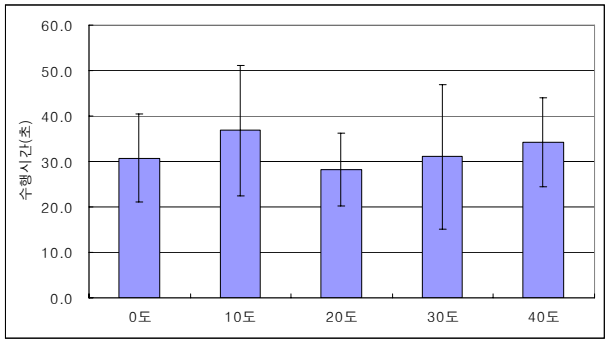
3. 결 과

3.1 수행시간

Plier 손잡이 각도에 따른 수행시간에 대한 일원분산분석(one way ANOVA)에서 철판 구부리기와 철사 끊기 모두에서 plier 손잡이의 영향은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다(각각 $p>0.80$, $p>0.30$). 즉 plier 손잡이 각도를 달리 하더라도 철판 구부리기와 철사 끊기에 소요된 시간은 유의하게 달라지지 않음을 보였다. Plier 손잡이 각도에 따른 수행시간은 그림 4에 나와 있다. 그림에서 보는 바와 같이 통계적 유의차는 없지만 철판 구부리기와 철사 끊기 모두에서 plier 손잡이가 20°일 때 수행시간이 가장 짧았다.



(a) 철판 구부리기



(b) 철사 끊기

그림 4. Plier 손잡이 각도에 따른 수행시간
(수행시간은 평균값이며 bar는 표준편차를 나타냄)

3.2 손목 동작

3.2.1 철판 구부리기

앞서 언급한 바와 같이 철판 구부리기에서는 세 시점(초기 준비 단계, plier가 수평선과 45° 및 90°를 이루는 시점)의 손목편향 동작과 plier 동작범위를 측정하였다. Plier 손잡이 각도 및 측정 시점에 따른 이들의 영향을 알아보기 위하여 분산분석을 실시하였으며, 그 결과는 표 2에 정리되어 있다. 초기 준비 단계, 세 측정 시점(초기 준비 단계 및 plier가 수평선과 45° 및 90°를 이루는 시점), 동작범위 모두에서 손목편향 동작 정도가 plier 손잡이 각도에 따라 통계적으로 유의하게 다름을 보였다($p<0.0001$). 세 측정 시점에 대한 분석에서는 측정 시점, 손잡이 각도와 측정 시점

간의 교호작용이 유의하게 나타났다(p<0.0001).

표 2. 철판 구부리기의 분산분석표

측정시점/변수	요인	자유도	Mean square	F value	p value
초기 준비 단계	손잡이 각도	4	1,029.25	23.35	<0.0001
	error	62	44.09		
세 측정 시점 (초기 준비 단계-45~90°)	손잡이 각도(A)	4	965.04	21.65	<0.0001
	측정 시점(T)	2	10,930.90	245.26	<0.0001
	A*T	8	231.07	5.18	<0.0001
	error	164	44.57		
동작범위	손잡이 각도	4	531.15	16.26	<0.0001
	error	46	32.66		

초기 준비 단계에서 plier 손잡이 각도에 따른 손목편향 정도는 그림 5에 나와 있다. plier 손잡이 각도가 0°에서 40°로 갈수록 측골편향 동작에서 요골편향 동작으로 옮겨감을 보이고 있다. 편향 동작의 정도는 plier 손잡이가 20°일 때가 가장 작고, 다음으로 10°일 때가 작았다. 사후 검증 방법 중 Duncan의 다중범위 검정(multiple range test)(유의수준 5%)에서 준비 단계에서의 손목편향 정도는(30°, 40°), (10°, 20°)와 0°의 세 그룹으로 나누어졌다. Duncan의 다중범위 검정 결과가 그림에 병기되어 있다.

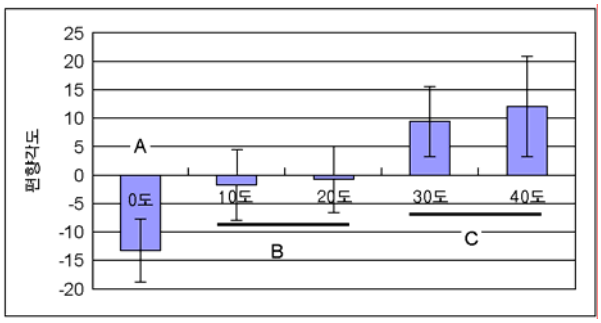


그림 5. 초기 준비 단계에서의 plier 손잡이 각도에 따른 손목편향 동작
(음수 값은 측골편향 평균값을, 양수 값은 요골편향 평균값을, bar는 표준편차를 나타냄, α=0.05)

손목 동작을 측정한 세 시점, 즉 준비 단계, plier가 수평선과 45° 및 90°를 이루는 시점에서 측정한 손목편향 동작 정도는 그림 6에 제시되어 있다. 그림에서 보는 바와 같이 손목편향 정도는 철판 구부리기 작업이 진행되어감에 따라 측골편향에서 요골편향으로 그 정도가 커짐을 알 수 있다.

Plier 동작범위는 그림 7에 나와 있으며 plier 손잡이 각도가 증가할수록 plier 동작범위는 감소함을 보이고 있다. Duncan의 다중범위 검정에서 plier 동작범위는 0°(10°, 20°, 30°)와 40°의 세 그룹으로 나누어졌다.

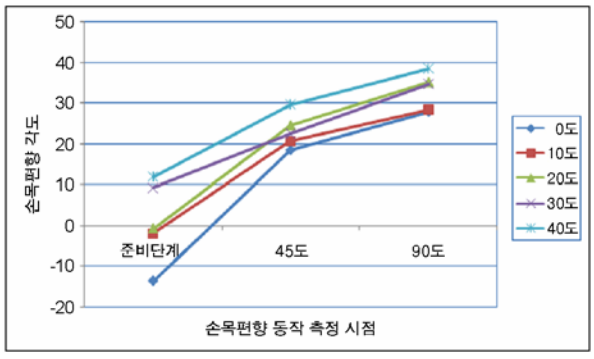


그림 6. 철판 구부리기 작업에서 측정 시점에 따른 손목편향 동작

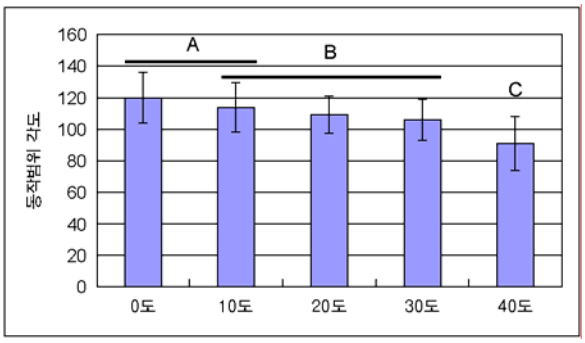


그림 7. Plier 손잡이 각도에 따른 plier 동작 범위
(동작범위 각도는 평균값이며 bar는 표준편차를 나타냄, α=0.05)

3.2.2 철사 끊기

철사 끊기 작업에서는 시점과 종점 사이를 등간격으로 나눈 다섯 시점과 끊겨진 철사를 떨어뜨리기 위하여 손잡이를 벌릴 때의 편향 동작을 측정하였다. 편향 동작에 대한 plier 손잡이 각도의 영향을 알아보기 위하여 분산분석을 실시하였으며, 그 결과는 표 3에 정리되어 있다. 준비 단계, 여섯 시점(등간격 다섯 시점 및 손잡이를 벌릴 때), 손잡이를 벌릴 때의 편향 동작 모두에서 plier의 손잡이 각도가 유의한 영향을 미침을 보이고 있다(p<0.0001). 여섯 측정 시점에 대한 분석에서 손잡이 각도 및 측정 시점은 유의하나(p<0.0001), 두 변수 간의 교호작용은 유의하지 않은 것으로 나타났다(p>0.50).

준비 단계에서의 손목편향 동작 정도는 그림 8에 나와 있으며 plier 손잡이 각도가 증가할수록 측골편향 정도가 줄어듦을 보였다. Duncan의 다중범위 검정 결과 0°, 10°(20°, 30°), 40°의 네 그룹으로 나누어졌다.

철사 끊기 작업이 진행되어 감에 따라 손목의 측골편향 정도는 감소하다, 네 번째 혹은 다섯 번째 단계에서 편향

표 3. 철사 끊기의 분산분석표

측정 시점	요인	자유도	Mean square	F value	*p* value
초기 준비 단계	손잡이 각도	4	586.15	38.31	<0.0001
	error	61	15.30		
등간격 다섯 시점 및 손잡이를 벌릴 때	손잡이 각도(A)	4	2,394.26	167.80	<0.0001
	측정 시점(T)	5	227.84	15.97	<0.0001
	A*T	20	12.71	0.89	>0.50
	error	341	14.27		
손잡이를 벌릴 때	손잡이 각도	4	327.76	38.49	<0.0001
	error	5			
		7			

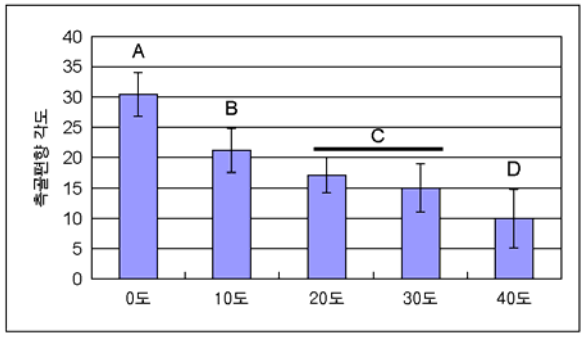


그림 8. 준비 단계에서의 plier 손잡이 각도에 따른 손목 측골편향 정도
(측골편향 각도는 평균값이며 bar는 표준편차를 나타냄, α=0.05)

정도가 조금 증가하는 추세를 보였다(그림 9). Plier 손잡이를 벌릴 때는 철사 끊기 작업 중일 때보다 측골편향 정도가 큰 것으로 나타났다.

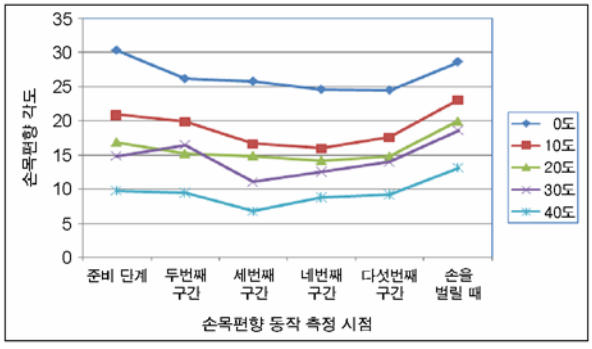


그림 9. 측정 시점에 따른 손목편향 동작 정도

끊어진 철사를 떨어뜨리기 위하여 손잡이를 벌릴 때의 손목 측골편향 정도는 그림 10에 나와 있다. 준비 단계에서와 같이 손잡이를 벌릴 때도 plier 손잡이 각도가 증가할수록 측골편향 정도가 감소함을 보였다. Duncan의 다중범위 검정에서도 준비 단계에서와 같이 0°, 10°(20°, 30°), 40°의 네 그룹으로 나누어졌다.

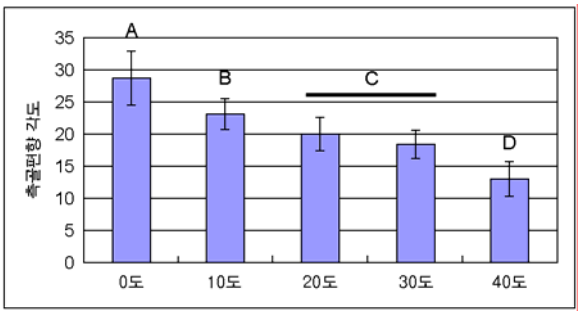


그림 10. 손잡이를 벌릴 때 plier 손잡이 각도에 따른 손목 측골편향 정도
(측골편향 각도는 평균값이며 bar는 표준편차를 나타냄, α=0.05)

3.3 만족도

철판 구부리기와 철사 끊기 작업에서 각 plier에 대한 실험이 끝난 후 피실험자 자신의 scale로 만족도를 답하게 하였다. 따라서 분석에 앞서 피실험자별로 다른 scale을 통일할 필요가 있다. 본 연구에서는 다음 식과 같은 최대−최소 변환(min−max transformation)을 이용하여 scale을 통일하였다.

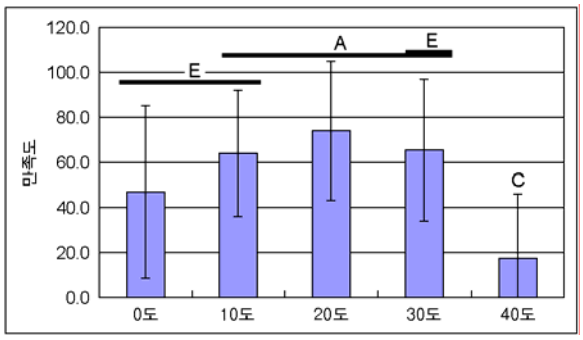
$$\text{정규화된 만족도} = \frac{\text{만족도} - \text{최소값}}{\text{최대값} - \text{최소값}}$$

여기서 최대 및 최소값은 각 피실험자 별 만족도의 최대 및 최소값임.

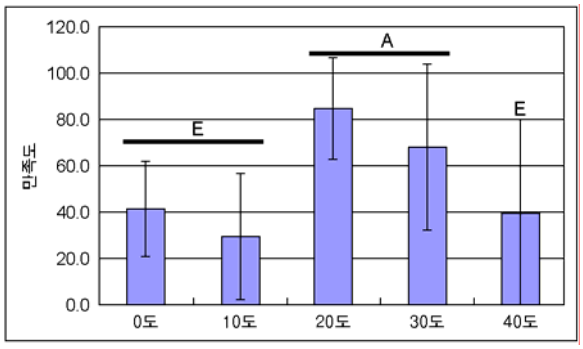
철판 구부리기와 철사 끊기 작업 모두에서 plier 손잡이 각도가 만족도에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다(p<0.0001). Plier 손잡이 각도에 따른 만족도는 그림 11에 나와 있으며, 철판 구부리기에서는 40°, 0°, 10°, 30°, 20° 순으로 선호도가 높게 나타났다. 철사 끊기에서는 10°, 40°, 0°, 30°, 20°의 순으로 만족도가 높았다. Duncan의 다중범위 검정 결과 철판 구부리기에서는 20°(0°, 10°, 30°), 40°의 세 그룹, 철사 끊기에서는(20°, 30°), (0°, 10°, 40°)의 두 그룹으로 분류되었다.

아홉 개의 verbal category에 대한 만족도 값은 다음 그림 12와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 만족 수준이 '보통' 정도는 만족도 값으로 약 60에 해당함을 보이고 있다. 이 값에 따르면 철판 구부리기 작업에서 plier 손잡이가 10°, 20°, 30°일 때는 '보통'에서 '약간 만족' 사이에, 0°는 '불만족'에서 '약간 불만족' 사이에, 40°는 '매우 불만족' 수준에 가

까움을 보이고 있다. 철사 끊기 작업에서는 20°일 때 '만족', 30°일 때는 '약간 만족', 0°와 40°일 때는 '불만족', 10°일 때는 '매우 불만족'에 가까운 만족도를 보였다.



(a) 철판 구부리기



(b) 철사 끊기

그림 11. Plier 손잡이 각도에 따른 만족도
(만족도는 평균값이며 bar는 표준편차를 나타냄, α=0.05)

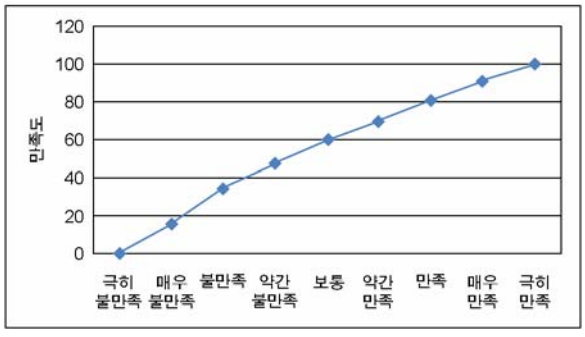


그림 12. 만족도에 대한 verbal category 대응

3.4 결과 요약

이상에서 plier 손잡이 각도가 수행시간, 손목편향 동작 및 동작범위, 만족도에 미치는 영향을 다루었다. 본 연구에서 다룬 철판 구부리기와 철사 끊기 작업별로 분석 결과를 다음 표 4에 정리한다. 수행시간은 본 연구에서 수행한 두 작업 모두에서 통계적 유의차가 없었으며, 만족도는 20°에서 유의하게 가장 높았다. 철판 구부리기에서 손목 동작은 준비 단계에서는 20°일 때가 편향 동작 정도가 가장 작았고, 동작범위는 40°일 때가 가장 작았다. 철사 끊기에서는 준비 단계와 손잡이를 벌릴 때 모두 40°일 때 편향 동작 정도가 가장 작았다.

표 4. 분석 결과 정리

과 업	종속변수		분석 결과	통계적 유의성
철판 구부리기	수행시간		20°<30°<40°<0°<10°	p>0.80
	손목 동작	준비 단계	20°<10°<30°<40°<0° (절대값 순임)	p<0.0001
		동작 범위	40°<30°<20°<10°<0°	p<0.0001
	만족도		40°<0°<10°<30°<20°	p<0.0001
철사 끊기	수행시간		20°<0°<30°<40°<10°	p>0.30
	손목 동작	준비 단계	40°<30°<20°<10°<0°	p<0.0001
		손잡이 벌릴 때	40°<30°<20°<10°<0°	p<0.0001
	만족도		10°<40°<0°<30°<20°	p<0.0001

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 plier를 이용하여 철판 구부리기와 철사 끊기 작업을 수행할 때 plier 손잡이 각도가 수행시간, 손목 동작 및 만족도에 미치는 영향을 실험적으로 다루었다. 본 연구에서 얻은 다음 결과를 고려할 때 plier 손잡이 각도는 20~30°가 적절한 것으로 판단된다: 1) 수행시간은 철판 구부리기와 철사 끊기에서 plier 손잡이 각도에 따라 유의한 차이를 보이지 않았으나, 손잡이 각도가 20°일 때 가장 짧았다; 2) 만족도는 두 작업 모두에서 20°일 때 가장 높았고, 30°일 때 다음으로 높았다; 3) 철판 구부리기에서 준비 단계의 손목 동작은 20°일 때가 가장 작았고, 동작범위는 40°일 때가 가장 작았으나 (10°, 20°, 30°) 그룹이 두 번째로 작았다; 4) 철사 끊기에서 준비 단계 및 손잡이를 벌릴 때 모두 40°일 때 손목 측골편향 정도가 가장 작았으나(20°, 30°) 그룹에서 측골편향이 두 번째로 작게 나타났다.

위의 결과와 표 4의 분석 결과에서 작업의 내용, 즉 철판 구부리기와 철사 끊기 작업에 따라 손목 동작 및 만족도에서 약간의 차이를 보였다. 이는 철판 구부리기와 같이 작업 대상물이 수평으로 고정되어 있어 작업 시 플라이어를 집는 손목 자세를 작업 대상물에 맞춰야 할 때, 즉 손목 자세를 피실험자에게 편하게 조절할 수 없을 때는 손잡이가 10~

20° 휘게 하는 것이 손목편향 동작을 최소화함을 나타낸 것으로 볼 수 있다. 반면 철사 끊기에서와 같이 작업 대상물의 위치와 손목 자세의 조절이 어느 정도 가능할 때는 손잡이가 휜 각도를 크게 할수록 손목편향이 줄어듦을 나타낸 것으로 해석할 수 있다. 이러한 결과는 해머, plier와 같은 공구 손잡이 각도와 작업 방향(orientation) 간의 교호작용이 정확도, 에러 수, 생산성 및 손목 동작 등의 관점에서 유의함을 보인 Schoenmarkin과 Marras(1989a,b)와 Dempsey et al.(2002)의 연구 결과와 일치한다고 할 수 있다. 만족도는 작업 내용에 따라 차이를 보이기는 하였으나 20~30°일 때 만족도가 높았다.

Schoenmarkin과 Marras(1989a,b)는 손목 동작, 두드리는 힘(driving force), 정확도, 에러 수, 근육 피로도 및 주관적 불편도 평가와 같은 종속변수에 해머 손잡이 각도가 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다. Schoenmarkin과 Marras(1989a,b)는 연구 결과에 근거하여 해머 손잡이를 20~40° 정도 기울일 것을 제안하였다. 본 연구에서는 손목 동작에서 조금 다른 결과를 보이기는 하나 본 연구에서 다룬 종속변수를 종합적으로 고려할 때 plier 손잡이를 20~30° 정도 휘게 하는 것이 바람직함을 보여, Schoenmarkin과 Marras(1989a,b)의 해머에 대한 연구와 차이를 보였다. 이는 두 연구의 연구 방법, 수행 작업의 차이 때문으로 보이며, 또한 공구의 종류에 따라 손잡이 각도를 달리하여야 함을 보인 것이라 할 수 있다.

본 연구에서 plier 손잡이를 20~30° 정도 휘게 하면 작업 수행도에는 유의한 차이가 없으나 손목 자세가 개선됨을 보였다. 이러한 결과는 해머를 다룬 Schoenmarkin과 Marras(1989a,b)와 Dempsey et al.(2002)의 결과와 일치하나, 작업 수행도와 손목 자세 모두 개선됨을 보인 Duke et al.(2004)의 연구 결과와는 대조를 보였다. Dempsey et al.(2002)과 Duke et al.(2004)의 연구에서는 손잡이가 직선인 것과 휜 것 두 가지 plier만 비교하고 손잡이가 휜 정도를 제시하지 않았으며, 실험에서 수행된 작업이 달라 그 차이의 원인을 구체적으로 논의하기는 어렵다.

손목관련 근골격계질환에는 부자연스러운 자세와 더불어 동작의 반복도 영향을 미치나, 본 연구에서는 철판 구부리기와 철사 끊기 작업을 10회 반복하는데 소요된 시간이 약 30~40초 정도로 짧고 실험 처치의 반복을 수행하지 않아 동작 반복 효과를 분석할 수 없었다. 따라서 장시간에 걸쳐 실험 처치를 반복하는 실험을 수행하여 동작 반복 효과를 살펴보는 추후 연구가 요망된다.

본 연구에서는 손목 동작 중 요골 및 측골편향 동작만을 측정하였으나, 굴곡, 신전 동작을 포함하는 3차원 동작에 대한 연구가 요망된다. 그러나 본 연구의 실험에서 채택한 철판 구부리기와 철사 끊기는 2차원의 시상면(sagittal plane)에서 대부분 이루어지기 때문에, 굴곡, 신전 동작은 많이 일어나지 않아 본 연구의 결과에 큰 문제는 없을 것으로 판단된다.

참고 문헌

노동부, *산업재해현황분석*, 2006.

한국산업안전공단, *산업재해원인조사*, 2005.

Aghazadeh, F. and Mital, A., Injuries due to handtools: Results of a questionnaire, *Applied Ergonomics*, 18(4), 273-278, 1987.

rmstrong, T., Foulke, J., Joseph, B. and Goldstein, S., Investigation of cumulative trauma disorders in a poultry processing plant, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 43, 103-116, 1982.

Bridger, R. S., *Introduction to ergonomics*, McGraw-Hill, 1995.

Cacha, C. A., *Ergonomics and safety in hand tool design*, Lewis Publishers: New York, 1999.

Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J. and Martin, B. J., *Occupational biomechanics*, 3rd ed., Wiley, 1999.

Dempsey, P. G., McGorry, R. W., Leamon, T. B. and O'Brien, N., Bending the tool and the effect on human performance: Further investigation of the simulated wire-twisting task, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 63, 586-593, 2002.

Emanuel, J., Mills, S. and Bonnett, J., "In search of a better handle", *Proceedings of the Symposium: Human Factors and Industrial Design in Consumer Products*, Melford. MA. 1980.

Fogleman, M. T., Freivalds, A. and Goldberg, J. H., An ergonomic evaluation of knives for two poultry cutting tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 11, 257-265, 1993.

Granada, M. and Konz, S., "Evaluation of bent hammer handles", *Proceedings of the Human factors Society 25th Annual Meeting*(pp. 322-324), Santa Monica. CA, 1981.

Hsu, S. H. and Chen, Y. H., Evaluation of bent-handle files, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, 1-10, 1999.

Kluth, K., Zuhlke, D. and Strasser, H., "Product-ergonomic evaluation of pliers handles through electromyographic and subjective methods", *Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress*(Vol. 6, pp. 137-140), Santa Monica. CA, 2000.

Konz, S., Bent hammer handles, *Human Factors*, 28, 317-323, 1986.

Kroemer, K., Kroemer, H. and Koremer-Elbert, K., *Ergonomics: How to design for ease and efficiency*, Prentice-Hall, 1994.

Krohn, R. and Konz, S., "Bent hammer handles", *Proceedings of the Human Factors Society 26th Annual Meeting*(pp. 413-417), Santa Monica. CA, 1982.

Pulat, B. M., *Fundamentals of Industrial ergonomics*, Prentice-Hall, 1992.

Schoenmarklin, R. W. and Marras, W., Effects of handle angle and work orientation on hammering: I. Wrist motion and hammering performance, *Human Factors*, 31(4), 397-411, 1989a.

Schoenmarklin, R. W. and Marras, W., Effects of handle angle and work orientation on hammering: II. Muscle fatigue and subjective ratings of body discomfort, *Human Factors*, 31(4), 413-420, 1989b.

Tichauer, E. R., *The biomechanical basis of ergonomics: Anatomy applied*

to the design of work stations, Wiley, 1978.

You, H., Kumar, A., Young, R., Veluswamy, P. and Malzahn, D. E., An ergonomic evaluation of manual Cleco plier designs: Effects of rubber grip, spring recoil, and worksurface angle, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 575-583, 2005.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 기 도 형 ❖ dhkee@skmu.ac.kr

서울대학교 산업공학과 석사

포항공과대학교 산업공학과 박사

현 재: 계명대학교 경영공학과 교수

관심분야: 산업안전, 생체역학, 근골격계질환

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2008년 02월 15일

논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2008년 03월 03일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2008년 04월 17일