Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 5 pp.727-734, October 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.5.727

휴식 상태의 손과 손목 자세 평가

이 경 선 · 정 명 철

아주대학교 산업정보시스템공학부

Resting Hand and Wrist Posture Evaluation

Kyung-Sun Lee, Myung-Chul Jung

Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University, Suwon, 443-749

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the resting postures of the fingers and wrist based on the biomechanical model in term of hand posture (neutral, pronation, and supination) and gender (male and female). The finger and wrist joint angles were measured with VICON motion system. The EMG system was used to examine the muscle activity in the resting condition. The participants consisted of twenty male and twenty female students. The angles of the fingers and wrist were analyzed by means of the coordinate system associated with the International Society of Biomechanics. Hand posture was significant for all the joints. The finger and wrist joint flexed in supination more than in neutral and pronation. The hand posture and gender were not significant for the results of muscle activity, but it had larger muscle activities in supination more than in neutral and pronation.

Keywords: Finger, Wrist, Posture, 3D Motion Analysis

1. 서 론

인간의 손은 27개의 뼈와 28개의 근육으로 이루어져 있고, 손목은 원위 요골, 척골, 8개의 수근골로 이루어져 있다(Taylor and Schwarz, 1955). 이런 복잡한 구조를 지닌 손과 손목은 다른 신체 부위에 비해 매우 다양한 형태의 동작을 할 수 있다. 손은 굽힘(Flexion), 신전(Extension), 외전(Adduction), 내전(Abduction)의 운동을 한다. 손목은 굽힘, 신전, 척골편향(Ulnar Deviation), 요골편향(Radial Deviation)의 동작을 한다(Jenkins, 2002).

이렇듯 복잡한 구조를 가지고 다양한 운동을 하는 손과 손목은 그에 따른 질환의 종류만도 다양하다. 관련 질환을 살펴보면, 손목굴 증후군(Carpal Tunnel Syndrome), 데꿔벵 건초염(DeQuervain's Tenosynovitis), 척골관증후군(Ulnar Tunnel Syndrome), 방아쇠 증후군(Trigger Finger), 결절종(Ganglion), 수지진동증후군(Hand-Arm Vibration Syndrome), 흉곽출구증후군(Thoracic Outlet Syndrome) 등이 있다(Putz-Anderson, 1998). 최근에는 휴대전화 버튼의 장시간 사용으로 발생하는 것으로 알려진 엄지혹사증후근(Black Berry Thumb)이라는 신종 질환도 나타났다(Menz, 2005).

위의 근골격계관련 질환은 미리 발견하고 예방하기 어려우나, 그 원인은 부자연스러운 자세, 무리한 힘, 반복적인 작업, 휴식부족, 접촉 스트레스, 진동이 물리적 유해요인(Physical Risk Factor)으로 야기되고 있다(Putz-Anderson,

*이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-331-D00703).
교신저자: 정명철
주 소: 443-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5번지, 전화: 031-219-2981, E-mail: mcjung@ajou.ac.kr

1998). 그 중 첫 번째 요인인 '부자연스러운 자세'는 각 신체 부위의 중립 자세(Neutral Posture)에서 벗어나는 자세로 정의하고 있다. 다시 말하면, 관절이 0°가 되는 자세가 중립 자세이며, 작업을 위해 손과 손목을 사용했을 때 구부러진 관절이나 체절의 각도에 따라 부자연스러운 자세 여부를 판단한다. 이러한 부자연스러운 자세를 평가하기 위한 방법으로 특별한 장비 없이 평가자가 작업자의 자세를 육안으로 관찰하여 작업부하를 분석할 수 있는 체크리스트가 널리 사용되고 있다. 그 중 가장 대표되는 체크리스트로 Rapid Upper Limb Assessment(RULA) (McAtamney and Corlett, 1993), Rapid Entire Body Assessment (REBA) (Hignett and McAtamney, 2000), Strain Index (SI) (Moore and Garg, 1995), UAW-GM 유해요인 체크리스트(UAW-GM Center for Human Resources, 1998), 워싱턴 주 유해요인 체크리스트(Department of Labor and Industries, 2003) 등이 있다. 이 외에도 자세 평가를 위한 다양한 체크리스트들이 개발되었다. 그 중 손과 손목의 부자연스러운 자세 항목을 포함한 체크리스트는 표 1에서 정리한 내용과 같다.

표 1. 손과 손목 자세 항목을 포함한 체크리스트

체크리스트	부위	특징
SI	손/손목	매우좋음, 좋음, 보통, 나쁨, 매우나쁨
RULA	손목	중립, 0~15°굽힘/젖힘, >15° 굽힘/젖힘, 벌림, 모음, 엎침, 뒤침
REBA	손목	0~15° 굽힘/젖힘, >15° 굽힘/젖힘, 벌림, 모음, 엎침, 뒤침
Armstrong	손/손목	손바닥으로 쥐기, 손가락으로 쥐기, 손가락 바닥으로 쥐기, 손가락 옆으로 집기, 손가락 끝으로 집기, 손가락으로 누르기, 75~45° 젖힘, 45~15° 젖힘, 15~15° 젖힘/굽힘, 15~45° 젖힘, 45~75° 젖힘, 25~5° 모음/벌림, 5~15° 벌림, 15~40° 벌림, 115~45°뒤침, 45~15° 뒤침/엎침, 15~70° 엎침
Posturegram	손목	굽힘, 젖힘, 벌림, 모음, 엎침, 뒤침

이러한 체크리스트들의 중립 자세 정의에 따라 모든 손가락과 손목의 각도가 0°(Straight)를 유지해야 하나, 이 자세를 유지하기 위해서는 인위적으로 힘을 주어 손을 펴야 한다. 다시 말해, 힘을 발휘해야 하는 중립 자세가 진정으로 신체부하가 가장 적은 자세의 기준이 될 수 있는지에 대한 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 연구는 운동학적 모델을 기반으로 손이 힘을 발휘하지 않는 휴식(Resting) 상태에서 손과 손목 관절이 취하는 자세를 평가하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

본 연구에는 총 40명(남성: 20, 여성: 20)이 실험에 참여하였다. 이들은 손과 손목 관련 질병이나 병력이 없고 모두 오른손을 사용하였다. 전체 피실험자의 평균 연령은 24.8±2.7세이고, 신장 및 몸무게의 평균은 각각 169.7±9.2cm와 63.9±15.5kg이었다.

2.2 실험장비

손과 손목의 각 관절을 측정하기 위하여 3차원 동작분석기(VICON Motion Capture System, UK) MX-3+ 카메라 4대와 MX-F40 카메라 3대 총 7대의 카메라를 사용하였다. 데이터 전송은 MX Control, MX Link, MX Net을 사용하였다. Sampling Rate은 50Hz로 설정하였으며, 손과 손목의 총 16(Finger: 15개, Wrist: 1개) 관절 각도를 측정하기 위하여 기존 연구의 Marker set을 인용하여 그림 1과 같이 4mm Marker를 사용하였다(Carpinella et al., 2006; Gupta et al., 1998; Metcalf et al., 2007; Zhang et al., 2003). 손에 21개, 손목에 4개로 총 25개를 관절의 중심에 부착하였다. 측정된 데이터 편집 및 분석에는 Workstation Software를 사용하였다.

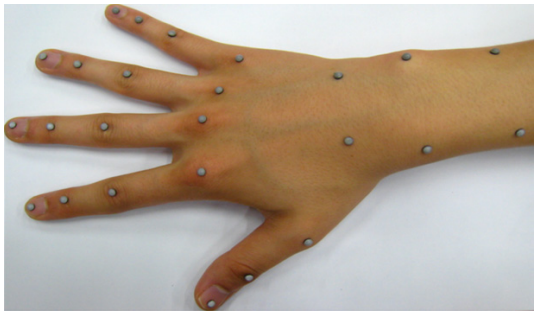

그림 1. 마커 부착 위치

휴식 자세를 취할 때 각 변수에 의한 근활성도 변화 유무를 측정하기 위한 장비로 근전도 시스템(Motion Lab System, MA-300, Inc, USA)을 사용하였다. 사용된 표면전극(Surface Electrode)은 6채널이며 피부의 전기적인 간섭을 피하기 위해 접지전극(Ground Electrode)을 사용하였다. 장비의 사양은 전극의 지름 1cm, 전극간 거리 2cm, Input Impedance 1MΩ 이상, CMRR >100 dB min at 40Hz, Gain 5,700, Band-Pass Filter 1,250Hz, Sampling Rate 1,000Hz으로 설정하였다.

피실험자의 최대 악력(MVC)를 측정하기 위하여 악력계(Model No, PC 5030J1, JAMAR® Hydraulic Hand Dynamometer, USA)를 사용하였다.

2.3 관절 각도

관절의 각도는 국제생체역학회(International Society of Biomechanics)에서 제안한 좌표계(Coordinate System)를 사용하였다(Wu et al., 2005). 손바닥이 앞쪽(Anterior)을 향하고, Thumb의 가쪽(Lateral)을 향하는 해부학적 표준 자세(Standard Anatomical Position)에서, 오른손의 양의 X축은 손바닥(Volar) 방향이고, 양의 Y축은 몸쪽(Proximal) 방향이고, 양의 Z축은 손목 가쪽(Radial) 방향으로 정의하였다.

손과 손목 관절의 각도는 Marker와 Marker 사이(Segment)의 사이각으로 정의하였다. 관절의 굽힘(Flexion)/폄(Extension) 값은 XY 평면에 의해 정의되며, 벌림(Abduction)/모음(Adduction), 척골편향(Ulnar Deviation)/요골편향(Radial Deviation) 각도의 값은 YZ 평면에 의해 정의된다. XY 평면이 +값을 가지면 굽힘을 의미하고, −값을 가질 경우 폄을 의미한다. 관절의 YZ 평면의 값이 +일 때, 벌림과 척골편향을 의미하며, −값의 경우, 모음과 요골편향을 나타낸다.

2.4 실험절차

실험에 앞서 피실험자를 대상으로 실험절차에 관한 전반적인 교육을 실시하였다.

피실험자는 자연스럽게 서서 어깨를 편안히 내린 상태에서 손바닥이 상부하지(upper leg)로 향하게 하여 실험을 실시하였다. 손과 손목 관절의 각도를 측정하기 위한 동작분석기는 그림 2와 같이 설치하였다.

그림 2. 실험 장면

독립변수인 손 자세에 대한 실험순서는 무작위로 선정하여 실시하였다. 또한 피실험자가 힘을 발휘하는지 여부를 판단하기 위해 근전도 시스템으로 근활성도의 변화 유무를 측정하였다. 전극을 붙이는 위치는 Forearm의 Flexor Digitorum Superficialis(FDS) 근육을 기준으로 하였으며, 각 전극간의 거리는 피실험자의 Forearm 둘레 치수를 측정하여 등간격(6등분)으로(Center to Center) 부착하였다. 독립변수 수준에 따른 근활성도의 변화 유무를 측정하기 위한 EMG 분석은 피실험자의 최대 악력(MVC)을 기준으로 평가하였다. 최대 악력은 악력계를 사용하여 5초간 3회 측정하였다.

2.5 실험계획

본 실험의 독립변수로는 성별(남성, 여성), 손 자세(회내, 중립, 회외)이다. 종속변수로는 손 관절(15개)와 손목 관절(1개)의 각도(Digit1: Interphalangeal(IP) Joint, Metacarpophalangeal(MCP) Joint, Carpometacarpal(CMC) Joint, Digit 2, 3, 4, 5: Distal Interphalangeal(DIP) Joint, Proximal Interphalangeal(PIP) Joint, Metacarpophalangeal(MCP) Joint, Wrist Joint)와 최대 악력(MVC)에 대한 근활성도의 백분율(%)이다.

최대 악력의 MVC 평균자료 값은 RMS(Root Mean Square) 처리 후 처음과 중간의 1.5초를 제외한 2초 동안의 평균 근전도 신호량을 100% MVC로 사용하였다.

본 연구에서는 독립변수의 조건에 대해 2×3 Mixed-Subject Design을 사용하여 실험을 실시하였다. 실험변수들이 각도 변화와 근활성도에 미치는 영향을 통계적으로 검증하기 위하여 유의수준 0.05로한 분산분석(2-way ANOVA)를 실시하였다. 통계적으로 유의한 결과를 보인 변수들에 있어서는 변수 수준별 차이를 분석하기 위하여 Tukey Studentized Range(HSD) Test를 실시하였다. 자료의 통계분석은 SAS 9.1 프로그램을 사용하였다.

3. 연구 결과

3.1 관절 각도

엄지 손가락의 CMC 관절의 굽힘/폄은 손 자세($p<0.0001$)에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 손 자세와 성별의 교호작용 또한 통계적으로 유의한 결과를 보였다($p=0.0495$). 손 자세에 대한 Tukey Test 결과, 회외와 회내 자세는 평균에 차이가 없으나, 이

들과 중립 자세와는 차이를 보였다(표 2). 엄지 손가락의 CMC 관절의 모음/벌림 각도는 독립변수에 따른 통계적인 차이를 보이지 않았다.

엄지 손가락의 MCP 관절의 굽힘/폄은 손 자세($p<0.0001$)에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 손 자세와 성별의 교호작용 또한 통계적으로 유의한 결과를 보였다($p<0.0001$). 손 자세에 대한 Tukey Test 결과, 세 자세 모두 각각 평균에 차이를 나타냈다(표 2).

엄지 손가락의 IP 관절의 굽힘/폄 역시 손 자세($p=0.00158$)와 손 자세 × 성별($p<0.0001$)의 교호작용에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 손 자세에 대한 Tukey Test 결과, 회내 자세는 다른 두 자세와 평균에서 차이를 나타냈다(표 2).

표 2. 엄지 손가락 관절의 평균 각도(표준편차)

변수	수준	CMC (굽힘/폄)	CMC (모음/벌림)	MCP (굽힘/폄)	IP (굽힘/폄)
성별	남성	49.1 (±1.9)	33.4 (±0.8)	42.1 (±1.9)	9.8 (±0.2)
	여성	46.6 (±0.6)	31.2 (±0.7)	38.7 (±2.8)	9.6 (±1.0)
손 자세	회내	48.7^{A} (±8.8)	32.5 (±5.3)	38.6^{C} (±12.0)	10.3^{A} (±5.2)
	중립	46.8^{B} (±10.4)	32.2 (±7.1)	42.8^{A} (±9.5)	9.4^{B} (±5.5)
	회외	48.7^{A} (±7.9)	32.5 (±7.1)	40.1^{B} (±10.6)	9.5^{B} (±4.7)

* 위 첨자 자리 알파벳(변수별 Tukey Test 그룹핑 결과)

검지 손가락의 MCP 관절의 굽힘/폄은 손 자세($p=0.0087$)에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 손 자세와 성별의 교호작용 또한 통계적으로 유의한 결과를 보였다($p=0.0002$). Tukey Test 결과, 각 자세마다 평균에 차이를 보였다. 검지 손가락의 MCP 관절의 모음/벌림 역시 손 자세($p=0.0269$)와 손 자세 × 성별($p<0.0001$)의 교호작용에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. Tukey Test 결과, 회내 자세는 다른 두 자세와 평균에서 차이를 나타냈다(표 3).

검지 손가락의 PIP 관절의 굽힘/폄 역시 손 자세($p<0.0001$)와 손 자세 × 성별($p<0.0001$)의 교호작용에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 손 자세에 대한 Tukey Test 결과, 세 자세 모두 각각 평균에 차이를 나타냈다(표 3).

검지 손가락의 DIP 관절의 굽힘/폄 역시 손 자세($p<0.0001$)와 손 자세 × 성별($p<0.0001$)의 교호작용에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 손 자세에 대한 Tukey Test 결과, 회외 자세가 가장 큰 값을 나타냈다(표 3).

표 3. 검지 손가락 관절의 평균 각도(표준편차)

변수	수준	MCP (굽힘/폄)	MCP (모음/벌림)	PIP (굽힘/폄)	DIP (굽힘/폄)
성별	남성	26.2 (±2.4)	0.8 (±0.5)	25.0 (±2.6)	10.1 (±0.6)
	여성	25.3 (±0.6)	−0.9 (±1.0)	28.5 (±1.0)	9.6 (±0.8)
손 자세	회내	25.7^{B} (±6.8)	0.6^{A} (±4.3)	25.1^{C} (±8.1)	9.7^{B} (±4.9)
	중립	27.2^{A} (±4.4)	-0.3^{B} (±4.9)	26.4^{B} (±7.7)	9.6^{B} (±5.0)
	회외	24.3^{C} (±7.5)	-0.3^{B} (±4.6)	28.8^{A} (±6.5)	10.4^{A} (±5.0)

* 위 첨자 자리 알파벳(변수별 Tukey Test 그룹핑 결과)

중지 손가락의 MCP 관절의 굽힘/폄은 손 자세($p=0.0051$)에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. Tukey Test 결과, 회외 자세가 가장 작은 값을 보였으며, 나머지 두 자세는 평균에 차이를 나타내지 않았다(표 4). 중지 손가락의 MCP 관절의 모음/벌림은 손 자세($p=0.0003$)와 손 자세 × 성별($p<0.0001$)의 교호작용에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. Tukey Test 결과, 중립 자세가 가장 큰 각도를 나타냈다(표 4).

중지 손가락의 PIP 관절의 굽힘/폄 각도는 손 자세($p<0.0001$)변수에 의해 각도 변화에 끼치는 영향이 통계적으로 유의한 결과를 나타냈다.

중지 손가락의 DIP 관절의 굽힘/폄 각도는 손 자세($p<$

표 4. 중지 손가락 관절의 평균 각도(표준편차)

변수	수준	MCP (굽힘/폄)	MCP (모음/벌림)	PIP (굽힘/폄)	DIP (굽힘/폄)
성별	남성	31.6 (±0.8)	1.3 (±0.5)	26.7 (±1.5)	10.4 (±1.0)
	여성	31.3 (±1.0)	−0.6 (±0.9)	28.8 (±0.5)	10.0 (±0.5)
손 자세	회내	32.0 (±4.9)	0.3^{B} (±4.1)	27.9 (±9.4)	9.7^{B} (±5.2)
	중립	31.8 (±4.3)	0.8^{A} (±5.0)	27.3 (±10.8)	9.9^{B} (±5.3)
	회외	30.4 (±7.2)	0.3^{B} (±4.9)	28.1 (±8.4)	11.1^{A} (±4.9)

* 위 첨자 자리 알파벳(변수별 Tukey Test 그룹핑 결과)

0.0001)와 손 자세 × 성별(p=0.0023)의 교호작용에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. Tukey Test 결과, 회외 자세의 각도가 가장 크며, 이는 다른 자세와 평균에서 차이를 나타냈다(표 4).

약지 손가락의 MCP 관절의 굽힘/폄은 손 자세(p=0.0004)에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 손 자세와 성별의 교호작용 또한 통계적으로 유의한 결과를 보였다(p<0.0001). Tukey Test 결과, 세 자세 모두 평균에서 차이를 나타냈다(표 5). 약지 손가락의 MCP 관절의 모음/폄은 손 자세(p<0.0001)와 손 자세 × 성별(p=0.0003)의 교호작용에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다.

약지 손가락의 PIP 관절의 굽힘/폄 역시 손 자세(p<0.0001)와 손 자세 × 성별(p<0.0001)의 교호작용에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 손 자세에 대한 Tukey Test 결과, 회외 자세가 가장 큰 각도를 나타냈으며, 다음으로 중립, 회내 순으로 평균에 차이를 나타냈다(표 5).

약지 손가락의 DIP 관절의 굽힘/폄 각도는 손 자세(p<0.0001)와 손 자세 × 성별(p=0.0163)의 교호작용에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. Tukey Test 결과, 평균간의 차이는 나타내지 않았다(표 5).

표 5. 약지 손가락 관절의 평균 각도(표준편차)

변수	수준	MCP (굽힘/폄)	MCP (모음/벌림)	PIP (굽힘/폄)	DIP (굽힘/폄)
성별	남성	23.3 (±1.0)	−2.0 (±0.3)	32.1 (±2.3)	8.7 (±0.1)
	여성	22.9 (±1.0)	−4.4 (±0.3)	31.6 (±2.4)	8.1 (±0.3)
손 자세	회내	23.1^{B} (±5.0)	−3.3 (±4.9)	30.2^{C} (±11.2)	8.4^{A} (±4.2)
	중립	23.8^{A} (±4.8)	−2.9 (±4.4)	32.1^{B} (±8.5)	8.2^{A} (±4.4)
	회외	22.4^{C} (±4.6)	−3.3 (±4.7)	33.3^{A} (±9.2)	8.7^{A} (±3.9)

* 위 첨자 자리 알파벳(변수별 Tukey Test 그룹핑 결과)

새끼 손가락의 MCP 관절의 굽힘/폄은 손 자세(p=0.0120)에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 또한 손 자세 × 성별(p=0.0002)의 교호작용에 의해서도 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 손 자세에 대한 Tukey Test 결과, 회내 자세가 가장 큰 각도를 나타냈으며, 이와 다른 두 자세와는 평균에 차이를 나타냈다(표 6). 새끼 손가락의 MCP 관절의 모음/폄은 성별(p=0.0366)에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 반면에 손 자세에 따른 차이는 나타나지 않았다. 성별과 손 자세의 교호작용 또한 통계적으로 유의한 결과를 나타내지 않았다. Tukey Test 결과, 여성은 남성보다 모음/폄 각도가 더 크게 나타났다(표 6).

새끼 손가락의 PIP 관절의 굽힘/폄 각도는 손 자세 × 성별(p<0.0001)의 교호작용에 의해서 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. Tukey Test 결과를 살펴보면, 성별 변수간의 차이를 나타내지 않았으며, 손 자세는 중립 자세가 가장 작은 각도를 나타냈다(표 6).

새끼 손가락의 DIP 관절의 굽힘/폄 각도는 손 자세(p<0.0001)에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 손 자세에 대한 Tukey Test 결과, 중립 자세가 가장 큰 각도를 나타냈으며, 다음으로 회외, 회내 순이었다. 이들은 각각 평균에 차이를 나타냈다(표 6).

표 6. 새끼 손가락 관절의 평균 각도(표준편차)

변수	수준	MCP (굽힘/폄)	MCP (모음/벌림)	PIP (굽힘/폄)	DIP (굽힘/폄)
성별	남성	29.1 (±0.9)	-8.8^{A} (±2.0)	34.0 (±3.4)	11.3 (±0.5)
	여성	28.1 (±0.8)	-13.3^{B} (±1.8)	36.6 (±1.6)	10.5 (±1.1)
손 자세	회내	29.4^{A} (±6.7)	-11.8^{B} (±6.5)	36.0^{A} (±7.6)	10.1^{C} (±5.5)
	중립	28.5^{B} (±7.2)	-11.9^{A} (±5.7)	33.9^{B} (±10.6)	11.6^{A} (±6.6)
	회외	27.9^{A} (±4.9)	-11.4^{A} (±5.1)	36.0^{A} (±8.7)	11.0^{B} (±5.4)

* 위 첨자 자리 알파벳(변수별 Tukey Test 그룹핑 결과)

손목의 굽힘/폄 각도는 손 자세(p<0.0001)에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 또한 손 자세 × 성별(p<0.0001)의 교호작용에 의해서도 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 손 자세에 대한 Tukey Test 결과, 회외 자세가 가장 큰 각도를 나타냈으며, 다음으로 중립, 회내 순 이었다(표 7).

손목의 모음/폄 각도 역시 손 자세(p=0.0007)와 손 자세 × 성별(p=0.0041)의 교호작용에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 손 자세에 대한 Tukey Test 결과, 회외 자세가 가장 큰 각도를 나타냈다(표 7).

표 7. 손목 관절의 평균 각도(표준편차)

변수	수준	굽힘/폄		모음/벌림	
		평균	표준편차	평균	표준편차
성별	남성	−15.9	±0.8	5.6	±0.1
	여성	−15.6	±1.7	8.1	±1.0
손 자세	회내	-14.8^{C}	±7.5	6.6^{B}	±4.4
	중립	-15.6^{B}	±5.6	6.4^{B}	±5.3
	회외	-16.8^{A}	±5.6	7.3^{A}	±5.4

* 위 첨자 자리 알파벳(변수별 Tukey Test 그룹핑 결과)

3.2 근활성도

%MVC를 기준으로 회외 자세의 평균 근활성도는 10.5%이고, 회내 자세는 10.0%, 중립 자세는 9.4%를 나타냈다.

각 Chanel에서 손 자세와 성별이 근활성도에 미치는 영향을 분석하기 위한 분산분석 결과, Ch 4(대략 Supinator 근육 부근)에서만 손 자세(p=0.0264)에 의하여 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 그 외의 다른 채널에서는 성별과 손 자세의 변화에 따른 차이를 나타내지 않았다.

통계적으로는 유의한 결과를 나타내지 않았으나 피실험자 전체를 대상으로 근활성도 결과를 살펴보면, Ch 1의 경우 회의가 %MVC에 약 12%로 중립(11%)과 회내(11%) 자세보다 높게 나타났다. 전체적으로 Ch 5(대략 Extensor Carpi Ulnaris 근육 부근)번을 제외하고는 모든 채널에서 회의 자세 시 근활성도가 다른 자세에 비해 높은 수치를 나타냈다. 다음으로 회내 자세 시 높은 자세를 나타냈으며, 중립 자세는 가장 낮은 근활성도를 나타냈다(그림 3). 하지만 모든 채널을 평균적으로 분석해보면, 중립 9%, 회내와 회외는 각각 10%로 평균적으로는 회내와 회외에는 차이를 나타내지 않았다.

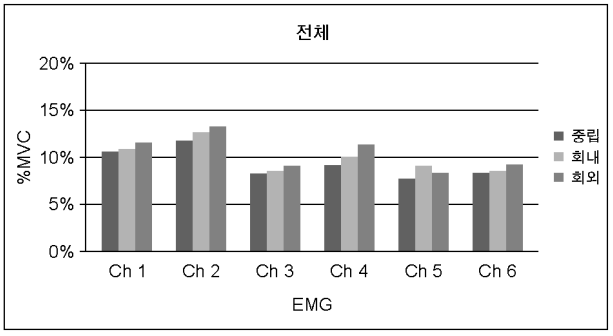

그림 3. MVC%를 기준으로 한 근활성도(전체)

4. 토의 및 결론

본 실험의 결과, 손 자세는 각도 변화에 끼치는 영향이 유의한 것으로 분석되었다. 하지만 성별은 통계적으로 유의한 결과를 나타내지 않았다.

손 자세에 대한 관절의 각도를 살펴보면, 엄지 손가락 CMC 관절의 굽힘은 중립(46.8°)이 가장 작은 각도를 나타냈으며, 회외와 회내는 48.7°로 같았다. CMC 관절의 모음/폄 각도는 자세에 따른 차이를 보이지 않았다. 엄지 손가락 MCP 관절의 굽힘은 중립 자세에서 각도가 가장 크게 나타났으며, 다음으로 회외, 회내 순 이었다. 하지만 IP 관절의 굽힘은 이와 반대로 회내 자세가 가장 큰 각도를 나타냈으며, 다음으로 회외, 중립 자세 순이었다.

나머지 검지, 중지, 약지, 새끼 손가락의 관절별 각도를 비교해 보면, MCP 관절의 굽힘/폄은 세 자세 모두에서 중지 손가락이 가장 많은 굽힘이 발생하였으며, 다음으로 새끼, 검지, 약지 손가락으로 모든 자세에서 동일한 결과를 나타냈다. MCP 관절의 모음/폄 각도는 새끼 손가락을 제외하고는 중립 자세에서 크게 벗어나지 않았다.

PIP 관절의 모든 손가락은 회외(31.6°) 자세에서 더 많은 굽힘이 발생하였으며, 다음으로 중립, 회내 자세 순이었다. PIP 관절의 굽힘은 모든 자세에서 새끼 손가락이 가장 많은 굽힘이 발생하였으며, 다음으로 약지 손가락의 굽힘이 컸다.

DIP 관절 역시 PIP 관절과 마찬가지로 회외 자세에서 굽힘이 가장 크게 발생하였다. 손가락별 각도는 새끼 손가락의 굽힘이 가장 크게 나타났으며, 다음으로 중지, 검지, 약지 손가락 순이었다.

엄지 손가락의 각도를 다른 손가락과 함께 비교하지 않은 이유는, 다른 손가락들과 해부학적 구조(Anatomical Design)가 다르기 때문이다(Taylor and Schwarz, 1955). 엄지 손가락 CMC 관절의 굽힘/폄, 모음/벌림 각도가 다른 손가락에 비해 큰 값을 보인 이유는 CMC 관절의 이동성(유동성)이 다른 관절에 비해 더 크기 때문이다(Taylor and Schwarz, 1955).

엄지 손가락을 제외한 다른 손가락의 MCP 관절 모음/벌림 각도는 새끼 손가락이 가장 크게 나타났다. 이는 새끼 손가락의 이동성(유동성)은 다른 네 손가락과 비교했을 때 가장 크기 때문이다(Matheson et al., 1970).

Matheson et al.(1970)의 손가락 모음/벌림에 대한 연구결과를 살펴보면, 새끼 손가락의 평균 모음/벌림은 여성이 남성보다 큰 각도를 나타냈다. 본 연구에서도 이와 마찬가지로 새끼 손가락의 모음/벌림 각도가 남성에 비해 여성이 큼을 알 수 있었다.

본 연구 결과, MCP 관절을 제외하고는 회외 자세 시 관절의 굽힘 현상이 더 크게 작용하였다. 이는 회외 자세는 다른 자세와 비교하여 보았을 때 피부의 장력(Tension)이 더 크기 때문이다(Russell et al., 2009). 이와 같이 피부의 장력은 근육과 건에 작용하여 관절의 굽힘을 유도하게 된다.

Su et al.(2005)의 연구를 살펴보면, 손목 굽힘 각도가 증가하면 손가락 관절의 굽힘 각도는 감소하고 반대로, 손목의 폄 각도가 증가하면 손가락 관절의 굽힘 각도는 증가하는 현상을 보였다. 이와 마찬가지로 본 연구의 결과에서도 손목의 폄 각도가 가장 큰 회외 자세에서 손가락 관절 굽힘 각도가 큼을 알 수 있었다.

Brand and Hollister(1999)의 연구 결과에서 중립(Neutral) 또는 휴식(Resting) 위치를 팔꿈치는 60°, 아래팔은 중립(Midprone), 손목은 10°를 나타내며, 모든 손가락은 45° 굽힘을 제시한다. 위의 결과는 본 연구의 결과와는 다소 차이를 나타냈다. 이와 같은 차이에 대한 원인은 Brand and Hollister(1999) 연구의 경우에는 지지대(Splint)를 사용할 때의 중립 또는 휴식 상태의 위치를 제시하고 있는 것이며, 본 연구의 경우에는 인간의 순수한 휴식 상태의 자세를 측정하였기 때문이다.

본 연구의 근활성도 결과를 살펴보면, 손 자세의 변화에 따른 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 하지만 수치상의 변화에 있어서는 회외 자세가 다른 자세에 비해 근활성도가 크게 나타났다. 다음으로 회내, 중립 자세 순이었다.

일반적으로 해부학적 자세는 손바닥을 앞으로 향하고 있는 것(회외)으로 이야기한다. 하지만 자연스럽게 선 자세는 손바닥을 옆으로(중립) 향하고 선 자세이다(Tyldesley and Grieve, 2002). 이처럼 자연스럽게 선 자세에서 해부학적 자세인 회외 자세 혹은 회내 자세를 취할 시에는 그와 연관된 근육과 신경, 건들이 함께 작용을 하게 된다.

회내 자세를 취하기 위해서는 원엎침근(Pronate teres)과 네모엎침근(Pronate Quadratus)이 작용을 하게 된다. 또한 회외 자세를 취할 때에는 위팔두갈래근(Biceps Brachii)과 뒤침근(Supinater)이 작용을 한다(Tyldesley and Grieve, 2002). 이와 같은 근육의 작용으로 인하여 회외 자세와 회내 자세는 중립보다 근활성도가 높게 나타났다고 할 수 있다. 또한 회외 자세는 회내 자세와 비교해 볼 때 피부 장력(Skin Tension)의 크기가 현저하게 크다(Russell et al., 2009). 이 또한 회외 자세가 다른 자세에 비해 근활성도가 크게 나타난 원인으로 설명된다.

본 연구의 활용 방안은 손과 손목 자세를 평가하기 위한 기준 수립에 있어 기본 정보를 제공할 수 있을 것으로 예상되며, 손을 사용하는 제품 및 장치설계에 있어서 유용한 정보로 사용될 것으로 예상된다.

참고 문헌

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

Brand, P. W. and Hollister, A. M., *Clinical Mechanics of the Hand*, third ed. Mosby, Missouri, 1999.

Carpinella, I., Mazzoleni, P., Rabuffetti, M., Thorsen, R. and Ferrarin, M., Experimental protocol For the kinematic analysis of the Hand: Definition and repeatability, *Gait & Posture*, 23(4), 445-454, 2006.

Cheng, P. L. and Pearcy, M., A three definition for the flexion/extension and abduction/adduction Angles, *Medical & Biological. Engineering & Computing*, 37(4), 440-444, 1999.

Department of Labor and Industries, Ergonomics, Washington Administrative Code (WAC)296-62-051, Washington State, Tumwater, WA, 2003.

Gupta, A., Rash, G. S., Somia, N. N., Wachowiak, M. P., Jones, J. and Desoky, A., The Motion Path of the Digits, *The Journal of Hand Surgery*, 23(6), 1038-1042, 1998.

Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid entire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31, 201-205, 2000.

Jenkins, D. B., *Functional anatomy of the limbs and back*, Elsevier, Eighth edition, 2002.

Matheson, A. B., Sinclair, D. C. and Skene, W. G., The range and power of ulnar and radial deviation of the finger, *J. Anat*, 107(3), 439-458, 1970.

McAtamney, L. and Corlett, E. N., RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24, 91-99, 1993.

Menz, R. J., Texting tendinitis. *The Medical Journal of Australia*, 182, 308, 2005.

Metcalf, C. D., Notley, S. V., Chappell, P. H., Burridge, J. H. and Yule, V. T., Validation and application of a computational model for wrist and hand movements using surface markers, *IEEE Transactionson Biomedical Engineering*, Impress, 2007.

Moore, J. S. and Garg, A., The strain index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56, 443-458, 1995.

Priel, V. Z., A numerical definition of posture, *Human Factors*, 16(6), 576-584, 1974.

Putz-Anderson, V., *Cumulative trauma disorders - A manual for musculoskeletal diseases for the upper limbs*, Taylor & Francis, London, 1998.

Russell, C. J. H., Bush, J. A., Russell, G. W. P., Thorlby, A., McGrouther, D. A. and Lees, V. C., Dynamic skin tension in the forearm: Effects of pronation and supination, *J. Hand Surg*, 34A, 423-431, 2009.

Su, F-C., Chou, Y. L., Yanf, C. S., Lin, G. T. and An, K. N., Movement of finger joint induced by synergistic wrist motion, *Clinical Biomechanics*, 20, 491-497, 2005.

Taylor, C. L. and Schwarz, R. J., The anatomy and mechanics of the human Hand, *Artificial Limbs*, 2(2), 22-35, 1955.

Tyldesley, B. and Grieve, J., *Muscle, nerves and movement in human*

occupation, Blackwell Science, Third edition, 2002.

UAW-GM Center for Human Resources, *UWA-GM Risk Factor Checklist 2*, Health and Safety Center, Auburn Hills, MI, 1998.

Wu, G., Helm, F. C. T., Veeger, H. E. J., Makhsous, M., Roy, P., Anglin, C., Nagels, J., Karduna, A. R., McQuade, K., Wang, X., Werner, F. W. and Buchholz, B., ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motin-Part II: shoulder, elbow, wrist and hand, *Journal of Biomechanics*, 38, 981-992, 2005.

Zhang, X. S., Lee, W. and Braido, P., Determining finger segmental centers of rotation in flexion-extension based on surface marker measurement, *Journal of Biomechanics*, 36(8), 1097-1102, 2003.

저자 소개

이 경 선 lks79s@ajou.ac.kr
아주대학교 산업공학과 석사
현 재: 아주대학교 산업공학과 박사과정
관심분야: 인간공학, 작업설계, 산업안전, 인체역학

정 명 철 mcjung@ajou.ac.kr
미국 펜실베니아주립대학교 산업공학과 박사
현 재: 아주대학교 산업정보시스템공학부 부교수
관심분야: 작업설계, 인간공학, 제품개발

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2009년 12월 21일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 09월 02일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 09월 02일