

# Classification Scheme for Complex Wrist Motion and External Load based on Perceived Discomfort

Dohyung Kee

Keimyung University, Department of Industrial and Management Engineering, Daegu, 42601

## 지각 불편도에 근거한 복합 손목 동작 및 외부 부하 분류 체계

기 도 형

계명대학교 경영공학과

### Corresponding Author

Dohyung Kee

Keimyung University, Department of  
Industrial and Management Engineering,  
Daegu, 42601

Mobile: +82-10-5656-1260

Email : dhkee@kmu.ac.kr

Received : March 14, 2019

Revised : March 20, 2019

Accepted : April 01, 2019

**Objective:** This study aims to investigate effects of complex wrist motions including flexion/extension and radial/ulnar deviation, and external load on perceived discomfort, and to develop a new complex wrist motion and external load classification scheme based on the perceived discomfort.

**Background:** Although the wrist is used the most frequently in work and vulnerable to work-related musculoskeletal disorders such as carpal tunnel syndrome, sprain, study for exactly quantifying stressfulness of the complex wrist motions is seldom found. The posture classification schemes such as RULA, REBA classify wrist motions into 2~3 categories according to motions of flexion and extension, and simply add 1 or 2 to their corresponding postural stress scores depending upon the degree of radial/ulnar deviation or twist. This is very simple to assess wrist motions, but results in inaccurate wrist motion stress.

**Method:** An experiment for measuring perceived discomfort for complex wrist motions was conducted, in which wrist motions of flexion/extension and radial/ulnar deviation, and external load were used as independent variables. Sixteen healthy male college students without histories of musculoskeletal disorders participated in the experiment, whose demographic data were as follows: Age -  $24.3 \pm 1.14$  years; Stature -  $174.5 \pm 4.73$ cm; Body weight -  $73.8 \pm 11.90$ kg.

**Results:** ANOVA showed that flexion/extension, radial/ulnar deviation, external load and interaction effects of flexion/extension and external load, and flexion/extension and radial/ulnar deviation were statistically significant on the discomfort at  $\alpha = 0.01$  or 0.05. The effect of external load is much larger, compared to wrist motions. Based on the experimental results, a new classification scheme reflecting quantity of external load as well as wrist motions was developed.

**Conclusion:** The study investigated effects of wrist motions and external load on perceived discomfort, and developed a new classification scheme of wrist motion and external load.

**Application:** The results of this study are useful for more precisely assessing postural load according to wrist motions and external load, and can be adopted as a part of a new posture classification scheme.

**Keywords:** Complex wrist motion, External load, Perceived discomfort, Posture classification scheme

Copyright©2019 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. Introduction

손목은 육체적 작업은 물론이고 사무 작업에서도 많이 사용되는 신체 부위이다. 손목을 과다하게 사용하거나 혹은 중립을 벗어난 자세로 작업하거나 손목에 역학적 부하가 크게 작용하면 손목터널증후군, 염좌 등 근골격계질환을 초래할 수 있다(David et al., 2008; MacLeod, 1998; Malchaire et al., 1996). Keir and Wells (2002)는 타이핑 활동 시뮬레이션을 통하여 30° 이내 손목 신전이 상지 근골격계 질환을 유발할 수 있음을 밝혔다. Armstrong et al. (1987)은 부자연스러운 손목 자세, 힘, 반복과 지속 시간의 복합과 부자연스러운 손목 자세, 반복 및 힘의 복합적 작용이 근골격계질환 유발과 강한 관계가 있다고 하였다. 또한, Armstrong et al. (1987)은 낮은 힘(low-force) 혹은 낮은 반복적 작업에서 높은 힘이나 높은 반복 작업으로 옮겨갈 때 손목터널증후군 발병율이 0.6%에서 5.1%로 증가한다고 보고하였다.

RULA (McAtamney and Corlett, 1993), REBA (Hignett and McAtamney, 2000)와 같은 관찰적 기법은 손목 동작에 따른 부하를 측정할 수 있는 손목 자세 분류 체계가 갖추어져 있다. RULA, REBA에서는 손목 굴곡과 신전 15° 동작을 기준으로 자세를 분류하고, 요골 혹은 편향 동작이 조금이라도 발생하면 1을 더하는 분류 체계를 채택하고 있다. RULA에서는 손목 비틀림(회내 혹은 회외 동작)이 비틀림 동작 범위 중간 정도까지 발생하면 1을, 최대 수준에 가까운 비틀림 동작이 발생하면 2를 굴곡/신전에 따른 부하에 더한다. 반면, REBA는 비틀림 동작의 크기에 관계없이 비틀림 동작이 발생하면 1을 더하도록 하고 있다. QEC (quick exposure check) (David et al., 2008)는 손목이 중립이 아닌 지만을 구분하고 반복 수준에 따른 점수를 부여한다.

위에서 살펴본 자세 분류 체계 혹은 자세 부하 평가 체계는 전문가의 지식이나 기존 문헌의 단편적 발견을 기반으로 개발되어 객관성이 부족하다. 손목 자세 관련 부하를 좀 더 정확하게 평가하기 위해서는 손목 동작 전반에 걸친 객관적 근거에 기초한 분류 체계의 개발이 요구된다. 기존 연구에서 손목 자세 부하 평가를 다루고 있으나 이들 연구는 모두 손목을 포함한 팔 자세를 다루고 있어 손목 동작에 따른 부하를 완전하게 분석하는데 한계가 있다(Kee, 2002; Kee, 2004; Kee, 2006). 즉, 손목에서 일어나는 굴곡/신전과 같은 가장 흔히 발생하는 대표 동작이나, 굴곡/신전 및 요골/측골편향 등 모든 자유도 동작을 다룰 경우는 각 동작 수준이 하나로 제한되어 있어 손목에서 발생하는 모든 자유도 동작 혹은 각 자유도 동작의 동작 범위(range of motion) 전 범위를 다루지 않고 있다. 따라서, 본 연구에서는 손목에서 발생하는 모든 자유도 동작 굴곡/신전 및 요골/측골편향이 동시에 발생하는 복합 손목 동작 및 외부 부하에 따른 지각 불편도에 근거한 손목 자세 및 외부 부하 분류 체계를 제안하고자 한다.

## 2. Method

### 2.1 Participants

본 연구의 복합 손목 동작 및 외부 부하에 따른 불편도 측정에는 과거 근골격계질환 병력이 없는 16명의 건강한 남자 대학생이 참여하였다. 실험 참여자의 연령은 24.3세(표준편차: 1.14세), 신장은 174.5cm(표준편차: 4.73cm), 체중은 73.8kg(표준편차: 11.90kg)였다. 모든 실험 참여자에게는 참여 시간에 따른 수당을 지급하였다.

### 2.2 Experimental design

본 연구의 실험에서 독립변수는 복합 손목 동작과 외부 부하로, 종속변수는 주관적 지각 불편도로 하였다. 손목 동작은 손목에서 일

**Table 1.** Experimental independent variables and levels

Wrist motion	Flexion/extension	-60, -20, 0, 20, 45°
	Radial deviation/ulnar deviation	-20, 0, 10, 30°
External load		0, 1.5, 3kg

\*Negative value: flexion or radial deviation

어날 수 있는 굴곡/신전, 요골/측골편향 동작으로 하였고 그 수준은 Table 1에 나와 있다. Armstrong et al. (1989)에 의하면 자동차 조립 작업에서 사용되는 공구 혹은 도구의 무게가 3kg 이하로 알려져 있어, 외부 부하의 최대 무게를 3kg으로 설정하였다. 외부 부하로 아령을 사용하였다. 실험은 완전요인계획법을 채택하여 20개 손목 자세, 외부 부하 3수준의 조합 60개 처치(treatment)에 대한 실험을 수행하였다. 모든 실험 참여자별로 실험 처치는 무작위 순서로 제시되었다.

### 2.3 Experimental procedure

실험 수행 전에 모든 실험 참여자에게 실험 목적, 절차 및 실험 도중 발생할 수 있는 위험 요인에 대한 설명을 하고 동의를 구하였다. 실험 도중 실험 처치에 따른 자세를 지속할 수 없거나 상해 위험을 느낄 경우 언제든지 실험을 중단할 수 있도록 하였다. 실험 참여자는 오른쪽 팔꿈치 및 손이 노출되는 복장을 취하도록 하였다. 실험자는 실험 수행 자세에 대한 관절 각도를 측정할 수 있도록 실험 참여자의 오른손 손목 가쪽점, 셋째 손가락 손등점, 팔꿈치 가쪽점에 마크를 부착하였다.

실험 참여자는 손바닥이 아래로 향하고 주먹을 자연스럽게 쥔 상태에서 오른손 손목 중심(손목 안쪽점과 가쪽점의 중간)이 기준점(바닥에 표시되어 있음)에 오도록 선 자세를 취하고, 실험자는 고니오미터를 이용하여 피실험자가 실험 처치에 따른 굴곡/신전 동작을 취하게 한다. 이 상태에서 실험 참여자는 실험 처치에 따라 정하여진 요골/측골편향 동작을 취한다. 실험 계획에 따른 손목 요골/측골편향 동작 수준은 바닥에 검은 색 테이프로 표시되어 있어, 실험 참여자는 굴곡/신전 자세를 유지한 상태에서 셋째 손가락 손등점이 정하여진 테이프 방향으로 향하도록 손목편향 동작을 취하면 된다. 실험 참여자가 주어진 손목 자세를 취하면 실험자는 철제 포인터 끝을 실험 참여자 오른손 다섯째 손가락 손등점에 닿을 정도로 위치시켜, 실험 참여자가 실험 처치에 따른 자세를 유지할 수 있게 한다(Figure 1).

다음으로 실험자가 실험 참여자에게 정하여진 외부 부하를 손에 쥐어 주고 실험 참여자의 준비 상태를 확인 후 '시작'을 외친다. 실험 처치에 따른 자세 유지 시간은 60초이며 60초가 경과 후 실험자가 '끝'을 외치면 실험 참여자는 실험을 종료한다. 실험 종료 후 실험 참여자는 실험 자세를 유지한 60초 동안 느꼈던 불편도를 평가하고 실험 참여자는 이를 기록한다. 실험 참여자에게 실험 간 2분 이상의 휴식 시간을 부여하였고, 실험은 2일에 걸쳐 수행되었다. 불편도 측정 실험 전에 3가지 이상 자세에 대한 연습을 한 후 본 실험을 수행하였고, 실험은 3.5~4.0시간 정도 소요되었다.

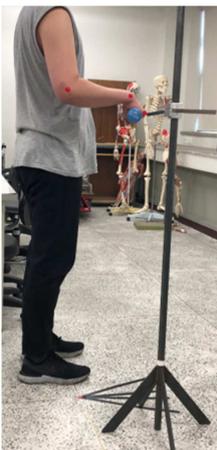


Figure 1. An experimental posture

### 2.4 Discomfort rating

실험 결과에 대한 정량적 분석이 가능하도록 실험 처치에 따른 불편도는 Borg CR10으로 측정하였다(Borg, 1998). 실험 전에 실험 참여자

에게 Borg CR10을 숙지시켰으며, 실험 도중 필요할 경우 수시로 참조할 수 있게 하였다. Borg CR10의 불편도 척도는 Table 2에 나와 있다.

**Table 2.** Borg CR 10 scale

Scale	Verbal anchor
0	Nothing at all
0.5	Extremely light discomfort (just noticeable)
1	Very light discomfort
2	Light discomfort
3	Moderate discomfort
4	
5	Strong discomfort (heavy)
6	
7	Very strong discomfort
8	
9	
10	Extremely strong discomfort (almost max)
Maximal	Absolute maximum (highest possible)

### 3. Results

#### 3.1 ANOVA

실험에서 독립변수로 채택한 손목 굴곡/신전, 요골/측골편향과 외부 부하가 종속변수 지각 불편도에 미치는 영향의 정도를 분석하기 위하여 분산분석을 실시하였다(Table 3). 손목 굴곡/신전, 요골/측골편향과 외부 부하의 단순 요인은 모두 지각 불편도에 유의수준 1%에서 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 세 독립변수 중 외부 부하가 지각 불편도에 미치는 영향이 가장 컸다. 손목 굴곡/신전과 외부 부하 교호작용은 유의수준 1%에서, 손목 굴곡/신전과 요골/측골편향 간 교호작용은 5%에서 유의하였다. 반면, 손목 요골/측골편

**Table 3.** ANOVA results

Source	DF	Mean square	F value	Pr > F
Flexion/extension (F)	4	1.33	60.18	< 0.01
Radial deviation/ulnar deviation (R)	3	1.67	75.68	< 0.01
External load (L)	2	106.14	4807.57	< 0.01
F * R	12	0.06	2.54	0.03
F * L	8	0.48	21.62	< 0.01
R * L	6	1.11	1.60	0.19
Error	24	0.53		

항과 외부 부하 간 교호작용은 지각 불편도에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

### 3.2 Wrist flexion/extension

손목 굴곡/신전 정도에 따른 지각 불편도의 경향은 Figure 2에 나와 있다. 불편도는 중립 자세에서 최소를 보이고 굴곡 혹은 신전 동작이 일어날수록 증가하는 경향을 보이는 2차 포물선에 가까운 경향을 띄고 있다. 굴곡 동작보다는 신전 동작에서 더 큰 불편도를 나타내었고 SNK 검정(Student-Newman-Keuls test)에서 (굴곡 60°, 굴곡 20°), (중립), (신전 20°), (신전 45°)와 같은 네 그룹으로 나누어졌다.

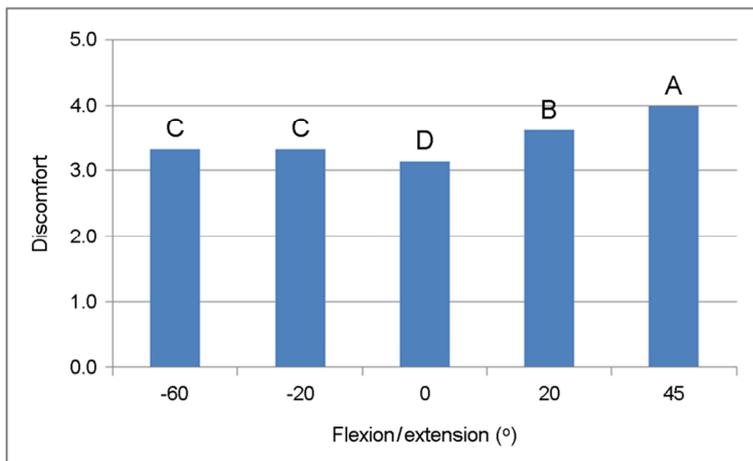


Figure 2. Effect of wrist flexion/extension

### 3.3 Wrist radial/ulnar deviation

손목이 중립 자세일 때 불편도가 최소를 보였고, 요골편향 혹은 측골편향이 발생할수록 거의 같은 크기로 불편도가 증가하는 경향, 즉

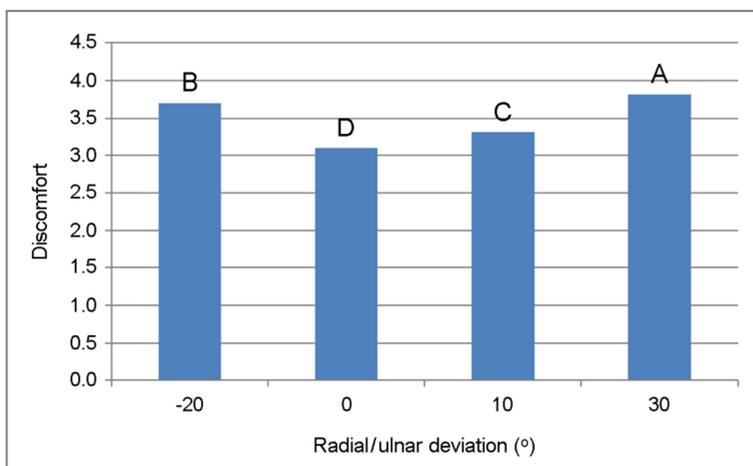


Figure 3. Effect of wrist radial/ulnar deviation

중립 자세를 대칭으로 하는 포물선 형태의 증감 추세를 나타내었다(Figure 3). SNK 검정에서 독립변수 수준별로 (중립), (요골편향 20°), (측골편향 10°), (측골편향 30°)의 네 그룹으로 구분되었다.

### 3.4 External load

외부 부하 크기에 따라 지각 불편도는 강한 선형적 증가 추세를 보였다(Figure 4). 이에 따라 SNK 검정에서는 외부 부하 수준에 따라 세 그룹으로 나누어졌다.

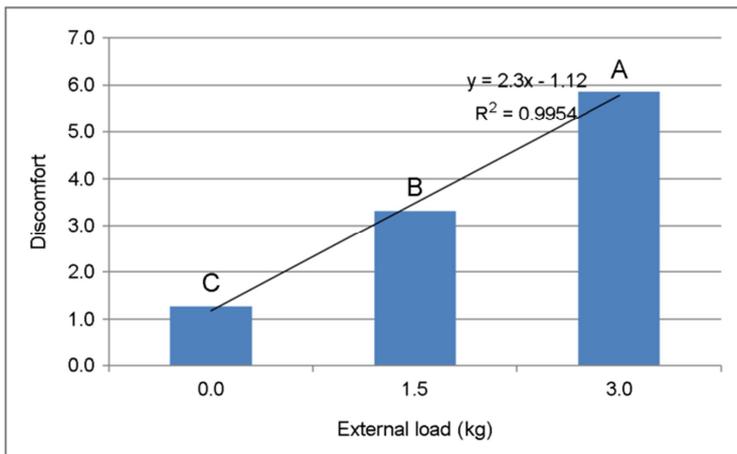
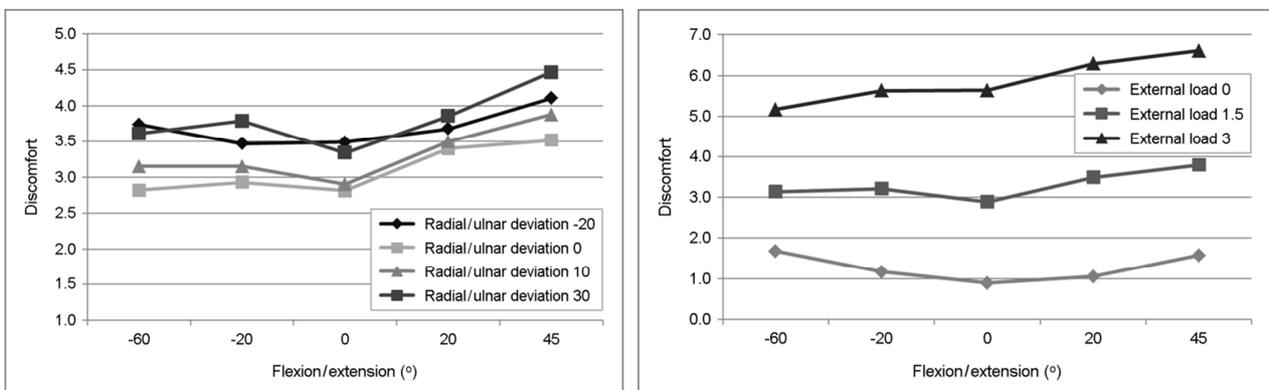


Figure 4. Effect of external load

### 3.5 Interaction effects

분산분석에서 유의하게 나타난 교호작용, 즉 굴곡/신전과 요골/측골편향, 굴곡/신전과 외부 부하가 전신 불편도에 미치는 영향이 Figure 5에 나타나 있다. 중립 자세, 측골편향 10°, 요골편향 20°, 측골편향 30°로 갈수록 손목 굴곡/신전 동작이 불편도에 미치는 영향이 대



(a) Flexion/extension and radial/ulnar deviation

(b) Flexion/extension and external load

Figure 5. Interaction effects between flexion/extension and radial/ulnar deviation (a), and flexion/extension and external load (b)

체로 커지는 경향을 보였다(Figure 5 (a)). 비슷하게 외부 부하가 클수록 불편도에 미치는 굴곡/신전 동작의 영향이 커졌으며, 외부 부하 간 영향의 차이가 크게 나타났다(Figure 5 (b)).

### 3.6 Classification scheme of wrist motion and external load

분산분석에서 굴곡/신전과 요골/측골편향 간 교호작용이 유의하게 나타나 손목 동작에 대한 분류 체계를 개발하기 위하여, 외부 부하가 없을 때 두 손목 동작에 따른 20개 자세에서의 지각 불편도를 정리하였다(Table 4). 이를 다시 각 굴곡/신전 동작별(즉, -60, -20, 0, 20, 45°)로 최소 불편도를 기준으로 비율을 구하였고 그 값은 Table 4의 괄호 안에 표시되어 있다. 각 굴곡/신전 동작에서의 최소 불편도는 모두 요골/편향 동작이 일어나지 않을 때(0°)였다. 지각 불편도 및 비율의 크기를 살펴보면 굴곡/신전 수준에 따라 요골/편향 동작의 영향이 다를 수 있다. 예를 들어, 요골편향 20°일 때 굴곡/신전 수준에 따른 불편도가 각 최소 불편도에 비하여 1.3~2.8배까지 다르게 나타났다.

**Table 4.** Perceived discomfort depending on wrist motions

		Radial/ulnar deviation (°)			
		-20	0	10	30
Flexion/extension (°)	-60	1.91 (1.5)	1.31 (1.0)	1.47 (1.1)	2.03 (1.6)
	-20	1.34 (1.7)	0.77 (1.0)	0.88 (1.1)	1.69 (2.2)
	0	1.25 (2.8)	0.44 (1.0)	0.76 (1.7)	1.09 (2.5)
	20	1.25 (1.7)	0.75 (1.0)	1.00 (1.3)	1.19 (1.6)
	45	1.67 (1.3)	1.25 (1.0)	1.41 (1.1)	1.97 (1.6)

∴ flexion or radial deviation

다음으로 손목 자세에 따른 외부 부하의 영향을 알아보기 위하여 손목 굴곡/신전 동작의 5개 동작 조합별로 불편도를 종속변수로, 외부 부하를 독립변수로 하는 단순 회귀식의 기울기를 구하였다(Table 5). 기울기는 손목 굴곡/신전 동작별 단위 외부 부하가 불편도에 미치는 영향의 정도를 나타낸다. 이렇게 기울기를 구한 이유는 분산분석에서 굴곡/신전 동작 및 외부 부하 간 교호작용이 유의하여, 굴곡/신전 동작에 따라 외부 부하의 영향이 다를 것으로 추정되기 때문이다. 다음으로 기울기 값 중 최소 값을 기준으로 한 최소 변환, 즉 해당 기울기 값/최소 기울기 값을 계산하여 소수점 이하 부분을 반올림하는 방식으로 정규화하였다(Table 5 괄호 안 수치).

**Table 5.** Effects of external load depending on wrist motions

		Slope
Flexion/extension (°)	-60	1.16 (1.0)
	-20	1.49 (1.3)
	0	1.58 (1.4)
	20	1.75 (1.5)
	45	1.68 (1.4)

∴ flexion

Table 4와 Table 5를 바탕으로 다음 Table 6과 같이 손목 동작 및 외부 부하에 대한 자세 분류 체계를 제안한다. 손목 동작에 대한 분

류 체계는 Table 4에 나와 있는 비율 값을 사용 편리성을 고려하여 0.5 단위로 반올림하여 만들어 진 것이다. 손목 동작 분류 체계에 제시된 값은 각 굴곡/신전 동작에서 요골/측골편향 동작이 일어나지 않은 중립 자세에서의 불편도 값과의 비율이기 때문에, 임의의 손목 동작 불편도는 중립 자세에서의 불편도\*분류 체계 값이 된다. 예를 들어, 손목 굴곡 60°, 요골편향 20°일 때 불편도는 1.31(손목 굴곡 60° 및 요골/측골편향 0°일 때 자세 불편도, Table 6에서 굴곡/신전 동작 60°, 요골/측골편향 0°일 때 괄호 안 값 및 Table 4 참조)\*1.5(손목 굴곡 60°, 요골편향 20°일 때 자세 분류 체계 값, Table 6 참조) = 1.97이 된다.

외부 부하 분류 체계는 Table 5에서 단위 무게에 대한 불편도, 즉 기울기 값의 비율이 1.0~1.5로 차이가 크지 않아 기울기의 평균값(약 1.5)에 해당 외부 부하 무게를 곱하는 방식으로 제안하였다. 외부 부하가 있는 경우 손목 부하는 손목 자세 및 외부 부하에 따른 불편도를 더하여 구한다. 예를 들어, 손목 굴곡 60°, 요골편향 20°이고 외부 부하가 3.0kg일 때 자세 부하는 1.31\*1.5 + 1.5\*3.0 = 6.47이 된다.

**Table 6.** Classification scheme of wrist motion and external load

			Radial/ulnar deviation (°)			
			-20	0	10	30
Wrist motion	Flexion/extension (°)	-60	1.5	1.0 (1.31)	1.0	1.5
		-20	1.5	1.0 (0.77)	1.0	2.0
		0	3.0	1.0 (0.44)	1.5	2.5
		20	1.5	1.0 (0.75)	1.5	1.5
		45	1.5	1.0 (1.25)	1.0	1.5
External load			Corresponding wrist motion discomfort + 1.5*external load (kg)			

-: flexion or radial deviation; values in parenthesis: discomfort score at radial/ulnar deviation of 0° in each flexion/extension motion

#### 4. Discussion

본 연구에서 제안한 손목 자세 분류 체계(Table 6)는 손목 굴곡/신전 자세를 기준으로 요골/측골편향 동작이 발생할 때의 영향 정도를 나타내고 있으며, 요골/측골편향 동작 영향의 정도가 굴곡/신전 및 요골/측골편향 동작 수준에 따라 차이를 보이고 있다. 즉, 굴곡/신전 동작 외에 단순히 요골/측골편향 동작이 일어났는 가만을 고려해서는 안되고, 두 손목 동작 수준을 동시에 고려하여야 좀 더 정확한 손목 자세 부하를 추정할 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 점은 분산분석에서 굴곡/신전과 요골/측골편향 간 교호작용이 유의하게 나타난 것에서도 알 수 있다. 이는 가장 대표적으로 사용되고 있는 자세 분류 체계인 RULA, REBA에서 손목 굴곡/신전 동작 부하에 요골/측골편향 동작 수준에 관계없이 동작이 발생하면 일정 점수를 더해주는 방식을 택하고 있으나, 이것이 잘못임을 나타낸 것이라 할 수 있다.

분산분석에서 손목 자세보다 외부 부하가 불편도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나(Table 3), 손목 부하 평가 시 손목 동작만 고려할 경우 부하를 바르게 평가할 수 없음을 보였다. 본 연구에서는 손목 동작 및 외부 부하를 동시에 고려할 수 있는 분류 체계를 제시하여 이러한 문제점을 개선하였다. 또한, OWAS (Karhu et al., 1977), RULA, REBA 등 기존 자세 분류 체계에서는 외부 부하를 일정 구간별로 나누고(예: OWAS의 경우 ~10kg, 10~20kg, 20kg~), 이에 일정 부하 점수를 부여하는 방식을 취하고 있어 외부 부하의 영향을 바르게 반영하고 있지 못하다. 본 연구에서는 외부 부하의 크기에 따른 부하를 연속적으로 부여할 수 있는 간단한 체계를 제시하고 있어 (Table 6), 외부 부하에 따른 자세 부하를 좀 더 정확하게 평가할 수 있을 것으로 기대된다.

손목 동작 관련 독립변수 중 요골편향 및 측골편향에 따른 불편도는 SNK 검정에서 서로 다른 그룹으로 분류되기는 하였으나 실제 크기는 거의 비슷한 수준으로 나타났다(Figure 3 참조). 이는 RULA, REBA 등 기존 자세 분류 체계에서 손목 동작 분류 시 굴곡/신전 동

작을 우선적으로 고려하고, 요골/측골편향 동작을 구분하지 않고 편향 동작이 일어날 경우 같은 크기의 가점을 주는 방식이 타당함을 보여준다.

## 5. Conclusion

본 연구에서는 손목 동작 및 외부 부하에 따른 불편도를 측정하는 실험을 수행하고, 실험 결과를 바탕으로 손목 및 외부 부하 분류 체계를 제안하였다. 본 분류 체계는 손목 자세 부하 평가에 유용한 자료로 활용되고, 본 연구 결과가 새로운 자세 분류 체계에 채택될 경우 기존 자세 부하 평가 기법보다 좀 더 정확하게 부하를 평가할 수 있을 것으로 기대된다.

## Acknowledgement

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2017R1D1A1B03028532).

## References

- Armstrong, T.J., Fine, L., Radwin, R.G. and Silverstein, B.A., Ergonomics and the effects of vibration in hand-intensive work, *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 13(4), 286-289, 1987.
- Armstrong, T., Punnett, L. and Ketner, P., Subjective worker assessment of hand tools used in automobile assembly, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 50, 639-645, 1989.
- Borg, G., Borg's perceived exertion and pain scales, Human Kinetics, IL, USA, 1998.
- David, G., Woods, V., Li, G. and Buckle, P., The development of the Quick Exposure Check (QEC) for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders, *Applied Ergonomics*, 39, 57-69, 2008.
- Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, 31, 201-205, 2000.
- Karhu, O., Kansj, P. and Kuorinka, I., Correcting working postures in industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-201, 1977.
- Kee, D., Effects of external load and upper extremity postures on perceived discomfort, *Journal of the KIIS*, 17(4), 178-183, 2002.
- Kee, D., Psychophysical load for females depending on arm postures, repetition of wrist motion and external load, *Journal of the KOSOS*, 21(3), 122-126, 2006.
- Kee, D., Psychophysical stress depending on repetition of wrist and external load, *Journal of the KOSOS*, 19(4), 123-128, 2004.
- Keir, P.J. and Wells, R.P., The effects of typing postures on wrist extensor muscle loading, *Human Factors*, 44(3), 392-403, 2002.
- MacLeod, D., The office ergonomics kit, Lewis Publishers, New York, USA, 1998.
- Malchaire, J.B., Cock, N.A. and Robert, A.R., Prevalence of musculoskeletal disorders at the wrist as a function of angles, forces, repetitiveness and movement velocities, *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 22, 176-181, 1996.

McAtamney, L. and Corlett, E.N., RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99, 1993.

## Author listings

**Dohyung Kee:** dhkee@kmu.ac.kr

**Highest degree:** Ph.D, Department of Industrial Engineering, POSTECH

**Position title:** Professor, Department of Industrial and Management Engineering, Keimyung University

**Areas of interest:** Systems ergonomics, Population stereotype, Product design, Posture classification scheme, Industrial safety, Musculoskeletal disorders