

# Classification Scheme for Complex Trunk Motion and External Load based on Perceived Discomfort - Flexion/Extension and Lateral Bending

Dohyung Kee

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

## 지각 불편도에 근거한 복합 몸통 동작 분류 체계 - 굴곡/신전 및 측면 굴곡

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 21, 2019

Revised : April 07, 2019

Accepted : April 19, 2019

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.

**Objective:** The purposes of this study are to investigate effects of complex trunk motions including flexion/extension and lateral bending, and external load on perceived discomfort, and to develop a new complex trunk motion and external load classification scheme based on the perceived discomfort.

**Background:** Low back pain is one of the most frequently occurring diseases in daily life as well as industrial sites, which accounts for almost half of work-related musculoskeletal disorders in Korea. Quantification of postural stress for low back or trunk motions is needed for preventing low back pain. For doing this, the posture classification schemes such as RULA, REBA are frequently used. The schemes classify trunk motions into 4 or 6 categories according to motions of flexion and extension, and simply add 1 to their corresponding postural stress scores depending upon whether or not the trunk is twisting or laterally bending. This is very simple to assess complex trunk motions, but results in inaccurate trunk motion stress.

**Method:** An experiment for measuring perceived discomfort according to complex trunk motions and external load was conducted, in which trunk motions of flexion/extension and lateral bending, and external load were used as independent variables. Fifteen healthy male college students without histories of musculoskeletal disorders participated in the experiment, whose demographic data were as follows: Age - 24.0 ± 1.73 years; Stature - 174.8 ± 6.53cm; Body weight - 72.1 ± 8.41kg.

**Results:** ANOVA showed that single factors of flexion/extension, lateral bending, and external load affected significantly on the discomfort at  $\alpha = 0.01$ . On the other hand, the interactions between independent variables were not significant. The effect of external load was much larger, while the effects of flexion/extension and lateral bending were similar. Based on the experimental results, a new classification scheme reflecting quantity of external load as well as complex trunk motions was developed.

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

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

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

## 1. Introduction

요통은 2016년 우리나라에서 발생한 근골격계질환의 약 50%, 전체 직업병의 약 32%를 차지하고 있는 가장 흔한 질환 중의 하나이다 (Ministry of Employment and Labor, 2018). 요통을 유발하는 직접적인 위험 요인으로 들기 작업과 중립을 벗어난 몸통 자세를 들 수 있다(Punnett et al., 1991). 요통이 발생하는 허리에서는 굴곡/신전, 측면 굴곡 및 회전 동작이 일어날 수 있으며, 중량물 취급 없이 이러한 자유도 동작만으로도 요통을 유발할 수 있다(Grandjean and Hunting, 1977; Keyserling, 1986). 2 자유도 이상 동작이 동시에 발생하는 복합 몸통 자세(complex trunk posture)는 1 자유도 동작에 비하여 높은 부하를 유발한다(Schultz et al., 1982).

허리를 많이 사용하여 요통 유발 위험이 높은 들기 작업 부하 평가에는 NIOSH 들기 작업 공식이 대표적으로 사용되고 있다(Waters et al., 1993). 허리를 포함한 자세 부하 평가에는 자세 분류 체계가 사용되고 있으며, OWAS (Karhu et al., 1977), RULA (McAtamney and Corlett, 1993), REBA (Hignett and McAtamney, 2000), WERA (Rahman et al., 2011)는 몸통 자세 분류 체계를 갖추고 있다. OWAS는 똑 바로 섰, 20° 이상 굴곡, 20° 이상 회전, 20° 이상 회전하여 굴곡의 4 부류로 나누고 부하 코드를 부여하고 있다. RULA에서는 몸통 굴곡을 기준으로 0°: 1, 0~20°: 2, 20~60°: 3, 60°~: 4와 같이 4구간으로 나누고, 굴곡 동작과 함께 몸통 회전이나 측면 굴곡이 동시에 발생하면 1을 더하도록 하고 있다. REBA는 RULA와 비슷하게 우선 굴곡 동작을 똑 바로 섰: 1, 0~20° 신전 혹은 굴곡: 2, 20~60° 굴곡, 20°~ 신전: 3, 60°~ 굴곡: 4로 분류하고, RULA에서와 같이 몸통 회전 혹은 측면 굴곡 동작이 발생하면 1을 더한다. WERA에서는 굴곡 동작을 REBA와 같이 4 구간으로 나누고, 신전, 측면 굴곡 및 회전 동작에 대한 분류 체계는 제시하지 않고 있다. 이와 같이 RULA, REBA에서 처럼 굴곡/신전 동작 부하에 회전 혹은 측면 굴곡 동작 수준에 관계없이 회전 혹은 측면 굴곡 동작이 발생하기만 하면 부하 점수 1을 더하는 방식은 부하를 실제와 달리 잘못 평가할 수 있다.

Lee et al. (2001)은 위와 같은 몸통 회전이나 측면 굴곡 동작 부하를 과소 평가하는 문제점을 개선하기 위하여, 굴곡/신전, 회전, 측면 굴곡 동작이 동시에 발생하는 복합 몸통 자세에 대한 지각 불편도를 측정하고 이를 바탕으로 새로운 몸통 자세 분류 체계를 제안하였다. 산업 현장이나 일상생활에서 언급한 몸통의 세 가지 자유도 동작이 동시에 발생하는 경우는 드물고, Lee et al. (2001)의 연구에서도 예비 실험을 통하여 세 자유도 동작을 조합한 자세 중 많은 자세가 실제 취할 수 없거나 어려움을 보였다. 이러한 이유로 Lee et al. (2001)의 연구에서 세 동작 변수에 대한 완전요인계획법에 따른 실험을 수행하지 못하고 변수의 일부 조합에 대해서만 불편도를 측정하였다. 또한, 일반적으로 자세에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 외부 부하가 변수로 고려되지 않아 연구 결과 활용에 한계가 있다(Carey and Galley, 2002; Waters et al., 1993).

외부 부하를 자세 분류 체계 OWAS에서는 0~10kg, 10~20kg, 20kg~, RULA에서는 0~2kg, 2~10kg, 10kg~, REBA와 WERA에서는 0~5kg, 5~10kg, 10kg~과 같이 몇 개의 구간으로 나누고 이에 따른 부하 코드를 부여하고 있다. 작업 현장에서 실제 사용되고 있는 대부분의 수공구는 3kg 이하인 것으로 알려져 있으나(Armstrong et al., 1989; Na, 2006), OWAS, REBA, WERA의 경우에는 부하를 모두 같은 수준으로 평가하게 되는 등 외부 부하 구간이 커 실제 부하를 제대로 평가하지 못하게 된다(Kee et al., 2018).

따라서 몸통 자세 부하를 바르게 평가하기 위해서는 몸통에서 실제 발생할 수 있는 대부분의 동작과 외부 부하에 따른 부하를 파악하는 연구가 요망된다. 본 연구에서는 굴곡/신전, 측면 굴곡 동작의 2 자유도 복합 몸통 동작과 외부 부하에 따른 지각 불편도를 측정하는 실험을 수행하고, 실험 결과를 바탕으로 복합 몸통 동작 및 외부 부하 분류 체계를 제안하고자 한다.

## 2. Method

### 2.1 Participants

본 연구의 복합 몸통 동작 및 외부 부하에 따른 불편도 측정에는 과거 근골격계질환 병력이 없는 15명의 건강한 남자 대학생이 참여하였다. 실험 참여자의 신체적 특성은 다음과 같다: 연령 -  $24.0 \pm 1.73$ 세; 신장 -  $174.8 \pm 6.53$ cm; 체중 -  $72.1 \pm 8.41$ kg. 모든 실험 참여자에게는 참여 시간에 따른 수당을 지급하였다.

### 2.2 Experimental design

몸통 동작에 따른 불편도 측정 실험에서 독립변수는 복합 몸통 동작과 외부 부하로, 종속변수는 주관적 지각 불편도로 하였다. 복합 몸통 동작은 몸통에서 일어나는 굴곡/신전, 측면 굴곡 동작으로 조절하였고, 그 수준은 Table 1에 나와 있다. 몸통 동작 수준은 굴곡/신전, 측면 굴곡 동작의 동작범위(range of motion)를 기준으로 정하였고, 동작 정의 및 동작범위는 Kee와 Karwowski (2001)를 따랐다. 외부 부하는 실험 처치 중 부하가 큰 자세에서 실험 참여자가 지탱할 수 있는 정도를 고려하여 최대 무게를 5kg으로 하였다. 외부 부하로 아령을 사용하였다. 실험은 완전요인계획법을 채택하여 15개 몸통 자세, 외부 부하 3수준의 조합 45개 처치(treatment)에 대한 실험을 수행하였다. 모든 실험 참여자별로 실험 처치는 무작위 순서로 제시되었다.

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

|               |                   |                     |
|---------------|-------------------|---------------------|
| Trunk motion  | Flexion/Extension | -20, 0, 30, 60, 90° |
|               | Lateral bending   | 0, 15, 30°          |
| External load |                   | 0, 1.5, 3kg         |

\*Negative value: extension

### 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 활동이 편하고 상의는 몸에 가볍게 붙는 복장을 취하도록 하였다. 실험자는 실험 수행 자세에 대한 관절 동작 각도를 측정할 수 있도록 실험 참여자의 오른쪽 어깨점, 엉덩뼈 능선점에 마크를 부착하였다.

실험 참여자는 오른쪽 엉덩뼈 능선점이 기준점(실험실 바닥에 표시되어 있음)에 오도록 선 자세를 취한다. 이 상태에서 윗팔은 몸통에 자연스럽게 붙이고 윗팔과 아래팔은 수직을 이루고, 아래팔과 손은 일직선이 되며 손바닥이 아래로 향하는 주먹을 자연스럽게 쥘다. 실험자는 고니오미터를 이용하여 실험 참여자가 실험 처치에 따른 굴곡/신전 동작을 취하게 하고, 바닥에 테이프로 표시되어 있는 선을 따라 측면 굴곡 동작을 취하도록 한다. 실험 참여자가 실험 처치에 따라 주어진 몸통 자세를 취하면 실험자는 실험 참여자 오른손에 외부 부하를 쥐어 준다(Figure 1).

실험자가 실험 참여자의 준비 상태를 확인 후 '시작'을 외친다. 실험 처치에 따른 자세 유지 시간은 60초이며 60초 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 3.0~3.5시간 정도 소요되었다.



**Figure 1.** An experimental posture

## 2.4 Discomfort rating

실험 처치에 따른 불편도는 Borg CR10으로 측정하여 실험 결과에 대한 정량적 분석이 가능하도록 하였다(Borg, 1998). 실험 참여자에게 Borg CR10을 실험 전에 설명하고 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

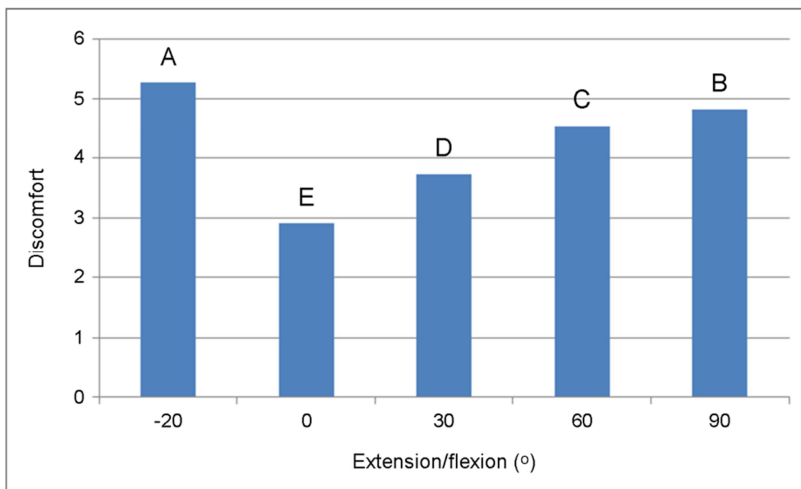
몸통 굴곡/신전, 측면 굴곡과 외부 부하가 지각 불편도에 미치는 영향의 정도를 분석하기 위하여 분산분석을 실시하였다(Table 3). 몸통 굴곡/신전, 측면 굴곡과 외부 부하의 단순 요인은 모두 지각 불편도에 유의수준 1%에서 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 세 독립변수 중 외부 부하가 지각 불편도에 미치는 영향이 가장 크고, 굴곡/신전 및 측면 굴곡의 영향 정도는 비슷한 것으로 나타났다. 교호작용은 모두 지각 불편도에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

**Table 3.** ANOVA results

| Source                | DF | Mean square | F value | Pr > F |
|-----------------------|----|-------------|---------|--------|
| Flexion/extension (F) | 4  | 7.84        | 111.02  | < 0.01 |
| Lateral bending (B)   | 2  | 8.23        | 116.62  | < 0.01 |
| External load (L)     | 2  | 21.75       | 308.03  | < 0.01 |
| F * B                 | 8  | 0.11        | 1.61    | 0.19   |
| F * L                 | 8  | 0.15        | 2.16    | 0.09   |
| B * L                 | 4  | 0.02        | 0.34    | 0.85   |
| Error                 | 16 | 0.07        |         |        |

#### 3.2 Trunk flexion/extension

몸통 굴곡/신전에 따른 지각 불편도의 크기 및 경향은 Figure 2에 나와 있다. 불편도는 중립 자세에서 최소를 보이고 굴곡 혹은 신전 동작이 일어날수록 증가하는 경향을 나타내고 있다. 굴곡 동작보다는 신전 동작에서 더 큰 불편도를 나타내었고 SNK 검정(Student-Newman-Keuls test)에서 굴곡/신전 동작 수준별로 다섯 그룹으로 나누어졌다.



**Figure 2.** Effect of trunk flexion/extension

### 3.3 Trunk lateral bending

몸통 측면 굴곡에 따라 지각 불편도가 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다(Figure 3). SNK 검정에서 불편도 크기는 독립변수 수준별로 세 그룹으로 구분되었다.

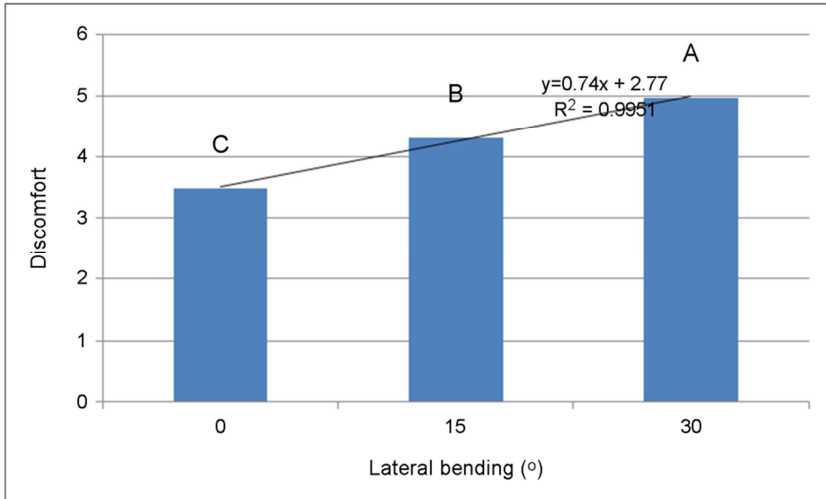


Figure 3. Effect of trunk lateral bending

### 3.4 External load

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

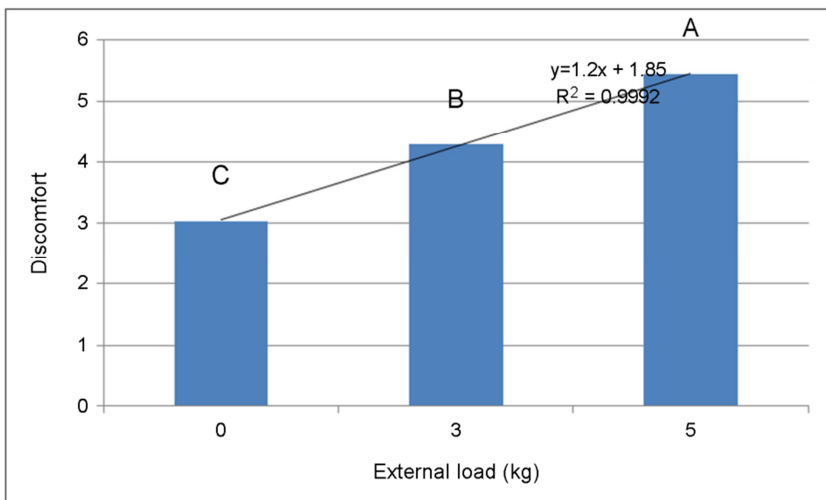


Figure 4. Effect of external load

### 3.5 Classification scheme of trunk motion and external load

본 연구에서 몸통 동작 및 외부 부하 분류 체계는 RULA, REBA에서처럼 굴곡/신전 동작 부하를 기본으로 하고, 측면 굴곡이 발생하거나 외부 부하가 있을 경우 일정 점수를 더하여 주는 방식으로 개발하였다. 굴곡/신전 동작 수준별로 측면 굴곡과 외부 부하를 독립변수로, 불편도를 종속변수로 하는 단순회귀식을 구하고 독립변수에 대한 기울기를 Table 4에 정리하였다. 회귀식을 굴곡/신전 동작 수준별로 구하였기 때문에 회귀식은 5개가 되고, 기울기는 단위 측면 굴곡 동작 또는 단위 외부 부하에 따른 불편도 증가 양이 된다. 외부 부하 분류 체계는 한 손에 걸리는 외부 부하 크기에 대한 불편도 점수를 제시하고 있다.

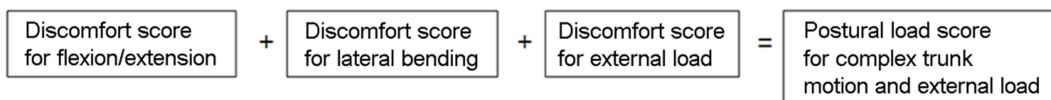
**Table 4.** Perceived discomfort depending on trunk motions and external load

|                       |           | Lateral bending |                    | External load |                                       |
|-----------------------|-----------|-----------------|--------------------|---------------|---------------------------------------|
|                       |           | Slope           | Discomfort score   | Slope         | Discomfort score                      |
| Flexion/extension (°) | -20 (3.0) | 0.04            | >20°: 1            | 0.43          | <1.5kg: 0; 1.5~4.0kg: 1; 4.0~5.0kg: 2 |
|                       | 0 (0.0)   | 0.07            | 10~20°: 1; >20°: 2 | 0.57          |                                       |
|                       | 30 (2.0)  | 0.05            | >20°: 1            | 0.40          |                                       |
|                       | 60 (2.5)  | 0.05            | >20°: 1            | 0.50          |                                       |
|                       | 90 (3.0)  | 0.04            | >20°: 1            | 0.49          |                                       |

-: extension; values in parenthesis: discomfort score for flexion/extension motions of corresponding degrees without lateral bending and external load

Table 4에 나와 있는 기울기 값에 측면 굴곡 혹은 외부 부하 크기를 곱할 때 불편도 값이 정수 혹은 0.5 단위에 가까운 값이 되도록 측면 굴곡 또는 외부 부하 분류 체계를 개발하였다. 예를 들어, 신전 20°일 때 측면 굴곡 기울기(0.04)에 20(측면 굴곡 동작 각도 크기의 예)을 곱하면 불편도 증가 양이 0.8이 되어 1.0에 가까우므로 측면 굴곡 20° 이상에서는 부하 점수를 1로 하였다. 외부 부하의 경우도 신전/굴곡 0°일 때 단위 외부 부하에 대한 불편도 기울기 값(0.57)에 4kg을 곱하면 2.28이 되고, 사용 편의성을 고려하여 부하 점수를 가까운 정수인 2로 하였다. 다른 굴곡/신전 동작 수준에 대해서도 같은 방식으로 외부 부하 크기를 곱하여 가까운 정수 혹은 0.5 단위 값으로 부하 점수를 부여하였다. 이와 같이 산출된 측면 굴곡과 외부 부하에 대한 분류 체계는 Table 4에 정리되어 있으며, 측면 굴곡과 외부 부하가 없는 굴곡/신전 동작만 일어날 때의 불편도 점수가 Table 4 굴곡/신전 동작 수준 옆 괄호 안에 병기되어 있다.

Table 4에 나와 있는 기울기는 언급한 바와 같이 단위 측면 굴곡 동작 혹은 외부 부하 크기에 대한 불편도 증가 양을 나타내므로, 복합 몸통 동작에 따른 불편도는 굴곡/신전 동작에 따른 불편도에 측면 굴곡 또는 외부 부하에 의한 불편도 증가 양을 더하여 구한다 (Figure 5). 예를 들어, 신전 20°, 측면 굴곡 30°, 외부 부하 3kg일 때 복합 몸통 자세 부하는 3.0 + 1.0 + 1.0 = 5.0이 된다.



**Figure 5.** Classification scheme of complex trunk motion and external load

## 4. Discussion

본 연구에서 복합 몸통 동작 분류 체계를 개발하기 위하여 몸통에서 일어나는 굴곡/신전, 측면 굴곡, 회전 동작 중 굴곡/신전과 측면

굴곡만을 실험에 포함하였으나, 이는 다음 관점에서 타당성이 있다 할 수 있다. 첫째, 인체 관절 동작 부하 ranking을 다룬 Genaidy et al. (1995), Kee와 Karwowski (2002) 연구에서 회전 동작보다는 측면 굴곡 동작 부하가 2~3배 큰 것으로 보고하고 있어, 본 연구에서는 측면 굴곡 동작을 우선적으로 다루었다. 둘째, Lee et al. (2001)에 따르면 몸통 굴곡/신전, 측면 굴곡, 회전 동작 간 교호작용이 유의하지 않아 이들 동작을 독립적으로 다루어도 문제가 없다 할 수 있다. 셋째, 위 연구에 의하면 세 가지 동작을 모두 독립변수로 채택할 경우 취할 수 없거나 어려운 동작이 많아, 측면 굴곡이나 회전 동작 등 특정 동작이 불편도에 미치는 영향을 완전하게 파악할 수 없다. 즉, 측면 굴곡이나 회전 동작의 전 동작범위에 대한 실험 변수 수준을 취할 수 없다. 반면, 본 연구에서는 독립변수로 한 굴곡/신전, 측면 굴곡 동작의 동작범위를 기준으로 변수 수준을 정하여 각 동작이 불편도에 미치는 영향을 충분히 살펴볼 수 있었다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 Lee et al. (2001)에 비하여 개선된 측면 굴곡 전 동작범위에 적용 가능한 몸통 자세 분류 체계를 제시할 수 있었다. 넷째, 언급한 바와 같이 몸통 동작은 2 자유도만 포함되었으나 인체 불편도나 역학적 부하에 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 외부 부하를 독립변수로 채택하여, 자세 부하를 좀 더 정확하게 평가할 수 있는 자료를 생산하였다(Carey and Galley, 2002).

본 연구에서 외부 부하는 실험 참여자가 견딜 수 있는 정도를 고려하여 5kg를 최대로 정하였다. 실제 실험에서 Borg CR10에 의한 불편도 점수가 9 혹은 10에 달하는 주관적 부하가 큰 실험 처치는 있었으나, 실험 포기가 한 건도 없어 외부 부하 선정에 문제가 없었던 것으로 보인다. 또한, 몸통 굴곡/신전, 측면 굴곡 동작도 동작범위를 고려하여 정하였으나, 실험에서 실험계획에 따른 처치를 실험 참여자가 모두 수행하여 외부 부하와 마찬가지로 동작 수준 설정에도 문제가 없었다.

본 연구에서 제안한 복합 몸통 동작 및 외부 부하 분류 체계는 RULA, REBA와 같이 굴곡/신전 동작을 기본으로 하고, 측면 굴곡이나 외부 부하가 발생할 경우 그 크기에 따라 일정 점수를 더해주는 방식을 취하고 있다. 이와 같이 몸통 측면 굴곡 동작과 외부 부하로 인한 부하를 독립적으로 고려하여 단순히 더하는 본 연구의 방식은, 분산분석에서 측면 굴곡 및 외부 부하 간 교호작용이 유의하지 않게 나타난 점에 기반한 것이다.

본 연구 및 Lee et al. (2001) 연구의 분산분석에서 몸통 동작 간 교호작용이 유의하지 않음에도, 몸통 복합 동작을 다룬 이유는 좀 더 사용이 간단하고 편리한 거시 몸통 자세 분류 체계를 개발하기 위해서이다. 즉, 거시 자세 분류 체계인 OWAS, RULA, REBA와 같이 몸통 동작의 경우 주 동작인 굴곡/신전 동작을 기준으로 일정 부하 점수를 부여하고, 이에 더하여 측면 굴곡 및 회전 동작이 발생하면 일정 점수를 더해주는 방식의 간단한 분류 체계를 개발하기 위함이다. 또한, 실제 작업에서 2 자유도 이상의 복합 몸통 동작이 많이 발생하기 때문이다.

본 연구에서는 정량적 실험 결과를 바탕으로 측면 굴곡 동작이 일정 수준 이상이 발생할 경우에 1 혹은 2를 굴곡/신전 부하에 더하도록 하고 있다. 이는 몸통 동작 부하 평가 시 굴곡/신전 동작 부하를 기준으로 측면 굴곡 동작의 크기에 관계없이 발생만 하면, 부하 점수 1을 더해주는 RULA, REBA 자세 분류 체계에 문제가 있음을 보이는 것이라 할 수 있다. 즉, RULA, REBA는 굴곡/신전 동작과 함께 발생하는 측면 굴곡 동작 부하를 과대 평가할 수 있다.

본 연구의 실험에서 한 손에 최대 5kg의 외부 부하를 부여하였기 때문에 양 손 작업의 경우는 10kg까지 평가할 수 있을 것으로 기대된다. 실제 작업에서는 10kg 이상의 중량물을 취급하는 경우가 많은 것으로 예상되어, OWAS, RULA, REBA, WERA에서처럼 10kg 이상의 외부 부하를 평가할 수 있도록 실험을 확장한 추후 연구가 요망된다. 또한, 본 연구에서는 실험 크기를 줄이기 위하여 몸통 동작과 외부 부하 변수만 조절하고, 윗팔은 몸에 자연스럽게 붙이고 아랫팔은 윗팔과 90°를 이루는 자세로 제한하였다. 그러나, 현실에서는 본 연구와 같은 제한된 팔 자세보다는 팔을 뻗치는 등 팔 자세가 다양할 것으로 보여, 다양한 팔 자세를 고려할 수 있는 연구도 요망된다.

## 5. Conclusion

본 연구에서는 복합 몸통 동작 및 외부 부하에 따른 불편도를 측정하는 실험을 수행하고, 실험 결과를 바탕으로 복합 몸통 동작 및 외부 부하 분류 체계를 제안하였다. 본 연구에서 개발한 분류 체계는 복합 몸통 자세 부하 평가에 유용한 자료로 활용될 뿐 아니라, 본 연구의 분류 체계가 기존 혹은 새로운 자세 분류 체계에 채택될 경우 기존 자세 부하 평가 기법보다 좀 더 정확하게 복합 몸통 자세 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

- Carey, E.J. and Galley, T.J., Effects of wrist posture, pace and exertion on discomfort, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29, 85-94, 2002.
- Genaidy, A.M., Barkawi, H. and Christensen, D., Ranking of static non-neutral postures around the joints of the upper extremity and the spine, *Ergonomics*, 38, 1851-1858, 1995.
- Grangjean, E. and Hunting, W., Ergonomics of posture: Review of various problems of standing and sitting posture, *Applied Ergonomics*, 8(3), 135-140, 1977.
- Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, 31, 201-205, 2000.
- Karhu, O., Kansi, P. and Kuorinka, I., Correcting working postures in industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-201, 1977.
- Kee, D., Na, S. and Chung, M., Effects of external load depending on hand position based on perceived discomfort, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 44(6), 415-421, 2018.
- Kee, D. and Karwowski, W., Ranking systems for evaluation of joint motion stressfulness based on perceived discomforts, *Applied Ergonomics*, 34(2), 167-176, 2003.
- Kee, D. and Karwowski, W., The boundaries for joint angles of isocomfort for sitting and standing males based on perceived comfort of static joint postures, *Ergonomics*, 44(6), 614-648, 2001.
- Keyserling, W.M., A computer-aided system to evaluate postural stress in the workplace, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 47, 641-649, 1986.
- Lee, I., Ryu, H., Chung, M.K. and Kee, D., Psychophysical discomfort evaluation of complex trunk postures, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 27(4), 413-423, 2001.
- 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.
- Ministry of Employment and Labor, Industrial accident analysis, 2018.
- Na, S., An observational method for postural stress associated with an external load based on the perceived discomfort, Unpublished Ph. D. Thesis, POSTECH, 2006.
- Punnet, L., Fine, L.J., Keyserling, W.M., Herrin, G.D. and Chaffin, D.B., Back disorders and nonneutral trunk postures of automobile

assembly workers, *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 17, 337-346, 1991.

Rahman, M.N.A., Rani, M.R.A. and Rohani, J.M., WERA: An observational tool develop to investigate the physical risk factor associated with WMSDS, *Journal of Human Ergology*, 40, 19-36, 2011.

Schultz, A.B., Andersson, G.B.J., Haderspeck, K., Ortengren, R., Nordin, M. and Bjork, R., Analysis and measurement of lumbar trunk loads in tasks involving bends and twists, *Journal of Biomechanics*, 15(9), 669-675, 1982.

Waters, T.R., Putz-Anderson, V., Garg, A. and Fine, L.J., Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, *Ergonomics*, 36(7), 749-776, 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