

# Classification Scheme for Complex Neck Motions based on Perceived Discomfort

Dohyung Kee

Keimyung University, Department of Industrial Engineering, Daegu, 42601

## 지각 불편도에 근거한 복합 목 동작 분류 체계

기 도 형

계명대학교 산업공학과

### Corresponding Author

Dohyung Kee

Keimyung University, Department of Industrial Engineering, Daegu, 42601

Email : dhkee@kmu.ac.kr

Received : July 03, 2020

Revised : August 24, 2020

Accepted : August 25, 2020

**Objective:** The objectives of this study are to investigate effects of complex neck motions including flexion/extension, rotation, and lateral bending on perceived discomfort, and to develop a new posture classification scheme for complex neck motions based on the perceived discomfort.

**Background:** As the use of computers and smart phones is increased, neck relevant disorders are increasing. For preventing or reducing the disorders, postural load for neck motions should be precisely quantified. There is a lack of study or assessment tool for complex neck motions.

**Method:** An experiment for measuring perceived discomfort according to complex neck motions was performed, in which neck motions of flexion/extension, rotation, and lateral bending were used as independent variables. Discomfort according to complex neck motions was used as dependent variable and measured by using the Borg CR10. Sixteen healthy male college students without histories of musculoskeletal disorders participated in the experiment.

**Results:** ANOVA revealed that while the interactions between the independent variables were not significant, single factors of flexion/extension, rotation, and lateral bending affected significantly on the discomfort at  $\alpha = 0.01$ . Based on the results, a new posture classification scheme for complex neck motions was developed and validated.

**Conclusion:** This study investigated effects of complex neck motions on perceived discomfort, and developed a new classification scheme of complex neck motions.

**Application:** The results of this study will help more precisely assess postural load according to complex neck motions as well as to develop a new posture classification scheme.

**Keywords:** Complex neck motion, Neck flexion/extension, Neck rotation, Neck lateral bending, Perceived discomfort, Posture classification scheme

## 1. Introduction

2018년 우리나라에서 근골격계질환이 6,715건 발병한 것으로 보고되었으며 전년 대비 1,520건(29.3%)이 증가하였다(Ministry of Employment and Labor, 2019). 간호사의 목 관련 근골격계질환 유병률은 어깨, 무릎, 허리, 손목/손 다음으로 높았고(Kee and Seo, 2007), 부산, 울산, 경남 지역 중소기업을 대상으로 한 조사에서는 어깨(43%), 등·허리(39%) 다음으로 높은 것(35%)으로 나타났다(Yonhap News, 2020). 컴퓨터 사용과 함께 휴대전화 사용이 보편화되고 일상생활화 되면서 목 관련 근골격계질환은 꾸준히 증가할 것으로 추정된다. 목 관련 근골격계질환을 예방하거나 줄이기 위해서는 목 자세에 따른 부하를 정량화할 수 있어야 하고, 이를 바탕으로 목 관련 자세를 개선하여야 한다. 근골격계질환과 연계하여 목 관련 자세만을 평가하는 연구나 자세 분류 체계는 없으며, 몇 연구가 목 자세 부하를 제시하거나 전신 자세 분류 체계에 목 자세가 포함되어 평가되고 있다. Genaidy et al. (1994, 1995)는 목 굴곡 동작을 20° 혹은 45° 기준으로 구분하였고, Kee (2005), Kee and Karwowski (2003)는 목에서 일어나는 동작인 굴곡, 신전, 회전, 측면 굴곡을 다른 관절에서 일어나는 동작의 불편도와 비교하여 관절 동작별 부하 랭킹을 남녀별로 제시하였다.

자세 분류 체계인 VIRA (Kilbom et al., 1986)는 굴곡 동작을 20° 기준으로 구분하였다. 자세 부하 관련 연구와 산업 현장에서 가장 많이 인용되고 활용되고 있는 RULA (McAtamney and Corlett, 1993)는 굴곡 0~10°, 10~20°, 20°~, 신전으로 구분하고 회전이나 측면 굴곡이 일어나면 1점을 더하였다. REBA (Hignett and McAtamney, 2000)는 RULA에 비하여 굴곡 0~20°, 20°~, 신전 동작으로 조금 단순하게 분류하였고, RULA와 같이 회전이나 측면 굴곡이 일어나면 1점을 더하였다. RULA와 REBA는 위와 같은 목 자세 분류의 근거로 VIRA를 들고 있으나, VIRA에서는 구체적 구간 분류 근거를 제시하지 않고 있다. LUBA (Kee and Karwowski, 2001a)는 지각 불편도에 근거하여 굴곡, 신전, 측면 굴곡과 회전 동작별로 분류 체계를 제시하고 있으나, 복합 목 동작에 대한 분류 체계는 제시하지 않았다. OWAS (Karhu et al., 1977)는 목 동작은 다루지 않고 있다.

RULA, REBA는 복합 목 동작 분류 체계를 제시하고 있으나 근거가 부족하고 목 동작 분류 체계가 단순하여 부하를 바르게 평가하지 못하고 있다. 정확한 부하 평가를 하기 위해서는 자료에 근거한 객관적이고 좀 더 상세한 복합 목 동작에 대한 분류 체계가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 목 동작의 2 자유도 혹은 3 자유도 복합 목 동작에 따른 지각 불편도를 측정하는 실험을 수행하고, 실험 결과를 바탕으로 복합 목 동작 분류 체계를 제안한다.

## 2. Method

### 2.1 Participants

본 연구의 복합 목 동작 불편도 측정에는 과거 근골격계질환 병력이 없는 16명의 건강한 남자 대학생이 참여하였다. 실험 참여자의 연령 및 신체적 특성은 다음과 같다: 연령 - 23.8±0.45세; 신장 - 173.6±4.50cm; 체중 - 68.0±6.19kg. 모든 실험 참여자에게는 참여 시간에 따른 수당을 지급하였다.

### 2.2 Experimental design

목 동작에 따른 불편도 측정 실험에서 독립변수는 목 굴곡/신전, 회전, 측면 굴곡으로, 종속변수는 주관적 지각 불편도로 하였다. 복합 목 동작은 굴곡/신전을 기본으로 하고 회전(시계 방향) 혹은 측면 굴곡(오른쪽) 동작이 더하여지는 2 자유도 혹은 3 자유도 동작으

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

Flexion/Extension (°)	-60, -30, 0, 20, 45
Rotation (°)	0, 30, 60
Lateral bending (°)	0, 30, 45

\*Negative value: extension

로 하였고, 그 수준은 Table 1에 나와 있다. 목 동작 정의는 Kee and Karwowski (2001b)를 따랐고 독립변수 수준은 LUBA (Kee and Karwowski, 2001a) 목 동작 분류 체계를 참조하여 정하였다. 실험은 완전요인계획법을 채택하여 45개 목 자세에 대한 45개 처치 (treatment)에 대한 실험을 수행하였다. Within subject design에 따라 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 있음을 알렸다. 실험 참여자는 활동이 편하고 목, 머리 전체가 노출될 수 있는 복장을 취하도록 하였다. 실험자는 실험 처치에 따른 목 동작 각도를 측정할 수 있도록 실험 참여자의 오른쪽 어깨점, 귀 구슬점, 턱끝점에 마크를 부착하였다(Figure 1에 붉은 점으로 왼쪽에 표시되어 있으며, 오른쪽에 같은 위치에 부착되어 있음).

실험 참여자는 양팔은 몸통에 자연스럽게 붙이고 신체 정중면(mid-sagittal plane)이 기준점(실험실 바닥에 표시되어 있음)에 오도록 선 자세를 취한다. 실험자는 고니오미터를 이용하여 실험 참여자가 실험 처치에 따른 목 굴곡/신전 동작을 먼저 취하게 하고, 다음으로 측면 굴곡 동작을 취하도록 한다. 회전 동작은 굴곡/신전 동작과 측면 굴곡 동작을 취한 상태에서 보통의 고니오미터로 측정이 쉽지 않기 때문에 머리 고니오미터를 착용한 상태에서 이를 이용하여 실험 참여자가 회전 동작을 취하게 하였다(Figure 1 참조). 실험 참여자가 실험 처치에 따른 자세를 취하면 실험자는 실험 참여자가 주어진 자세를 실험 시간 동안 유지하는데 참조할 수 있도록, 철제봉의 끝이 이마 중심에 오도록 철제봉을 위치시켜 두게 하였다. 실험 참여자는 이마 중심이 철제봉 끝에서 멀어지지 않도록 주어진 자세를 유지하도록 노력하고, 실험자는 이를 관찰하고 있다 이마 중심이 철제봉 끝에서 크게 멀어지면 실험을 중단시킨다. 중단된 실험은 추후 재시행 된다.



Figure 1. An experimental posture

실험자가 실험 참여자의 준비 상태를 확인한 후 '시작'을 외치면 실험이 시작된다. 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 실험 참여자별로 3.5~4.0시간 정도 소요되었다. 모든 실험 처치는 반복 없이 1회만 수행되었다.

실험 결과에 대한 정리 분석은 MS Office Excel 2010과 SAS 9.4를 이용하여 수행하였다.

## 2.4 Discomfort rating

복합 목 동작에 따른 지각 불편도는 Borg CR10으로 측정하였다(Borg, 1998). 실험 참여자에게 Borg CR10 내용을 실험 전에 충분히 설명하고 실험 도중 필요할 경우 수시로 참조할 수 있게 하였다. 사용된 Borg CR10 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

목 굴곡/신전, 회전과 측면 굴곡 동작이 지각 불편도에 미치는 영향의 정도를 분석하기 위하여 분산분석을 실시하였다(Table 3). 목 굴곡/신전, 회전과 측면 굴곡 동작의 단순 요인은 모두 지각 불편도에 유의수준 5%에서 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 세 독립변수 중 측면 굴곡이 지각 불편도에 미치는 영향이 가장 크고, 회전, 굴곡/신전 동작 순으로 나타났다. 굴곡/신전과 회전, 굴곡/신전

**Table 3.** ANOVA results

Source	DF	Mean square	F value	Pr > F
Flexion/extension (F)	4	33.84	4.73	< 0.05
Rotation (R)	2	49.57	41.46	< 0.05
Lateral bending (L)	2	234.01	68.94	< 0.05
F*R	8	5.27	0.81	> 0.10
F*L	8	2.93	0.62	> 0.10
R*L	4	1.47	0.62	> 0.10

과 측면 굴곡, 회전과 측면 굴곡 간 교호작용은 지각 불편도에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

### 3.2 Neck flexion/extension

목 굴곡/신전 동작에 따른 지각 불편도의 크기 및 경향은 Figure 2에 나와 있다. 지각 불편도는 중립 자세에서 최소를 보이고 굴곡 혹은 신전 동작이 일어날수록 선형적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 전체적으로는 포물선 형태를 띄었다. 단위 동작에 대한 불편도는 굴곡 동작보다는 신전 동작에서 조금 크게 나타났고, SNK 검정(Student-Newman-Keuls test)에서 굴곡/신전 동작 수준에 따른 다섯 그룹으로 나누어졌다.

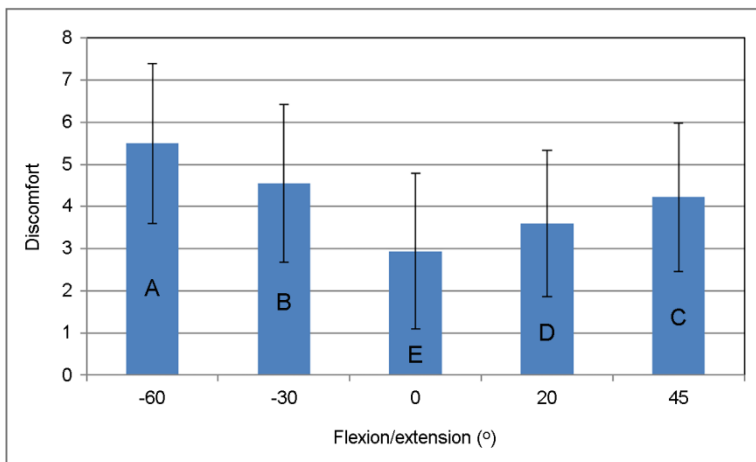


Figure 2. Effect of neck flexion/extension

### 3.3 Neck rotation

목 회전 동작이 커질수록 지각 불편도가 거의 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다(Figure 3). SNK 검정에서 불편도 크기는 회전 동

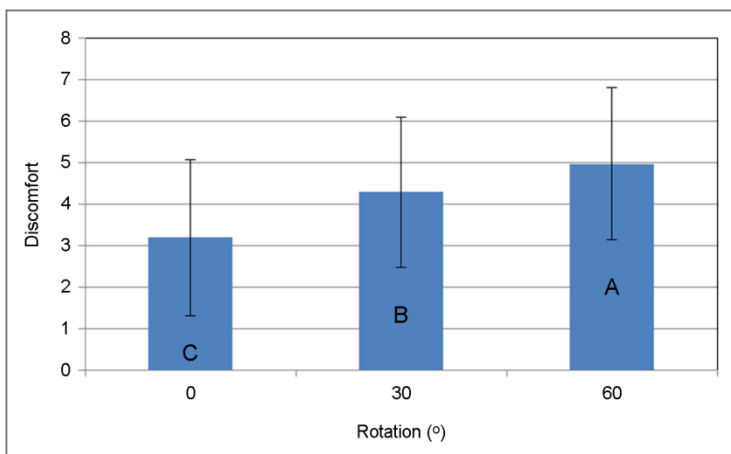


Figure 3. Effect of neck rotation

작 수준별로 세 그룹으로 구분되었다.

### 3.4 Neck lateral bending

목 측면 굴곡에 따른 불편도는 회전 동작과 같이 측면 굴곡 수준과 함께 선형적으로 증가하는 추세를 보였다(Figure 4). SNK 검정에서도 각각 불편도는 측면 굴곡 수준에 따라 세 그룹으로 나누어졌다.

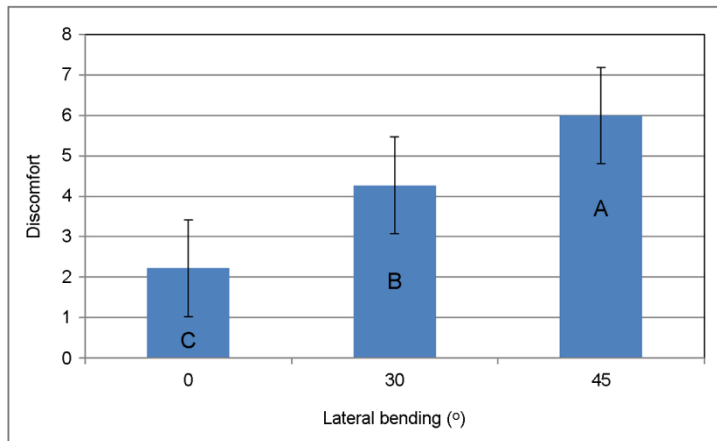


Figure 4. Effect of neck lateral bending

### 3.5 Classification scheme of neck motion

본 연구에서는 기존 자세 분류 체계인 RULA, REBA에서와 같이 시상면(sagittal plane)에서 일어나는 굴곡/신전 동작에 대한 자세 부하 점수를 먼저 부여하고, 이에 회전, 측면 굴곡 동작이 추가적으로 일어나면 일정 점수를 더해주는 방식의 목 자세 분류 체계를 제안한다. 이를 위하여 굴곡/신전 동작 수준별로 회전 및 측면 굴곡 동작을 독립변수로, 각각 불편도를 종속변수로 하는 회귀분석을 수행하였다. 분산분석에서 독립변수 간 교호작용은 유의하지 않았고, post-hoc 분석에서 회전 및 측면 굴곡 동작에 따라 불편도가 선형적으로 증가함을 보여 선형회귀분석을 실시하였다. 여섯 개의 선형회귀식을 구하였으며, 각 회귀식의 회전, 측면 굴곡 변수에 대한 계수/기울기가 Table 4에 정리되어 있다.

Table 4. Perceived discomfort depending on neck motions

		Rotation		Lateral bending	
		Slope	Discomfort score	Slope	Discomfort score
Flexion/extension (°)	-60 (2.5)	0.030	≥30°: 1; ≥60°: 2	0.085	≥10°: 1; ≥20°: 2; ≥30°: 3
	-30 (1.5)	0.031		0.084	
	0 (0.0)	0.025		0.085	
	20 (0.5)	0.031		0.077	
	45 (1.5)	0.032		0.077	

—: extension; values in parenthesis: discomfort score for flexion/extension motions of corresponding degrees without rotation and lateral bending

목 동작에 대한 자세 분류 체계는 Table 4에 나와 있는 회전 혹은 측면 굴곡 동작의 기울기 값에 해당 동작의 크기를 곱할 때 정수에 가까운 값이 되는 동작 크기 중, 각도 구분이 쉬우며 많이 사용되는 각도를 기준으로 동작을 구분하였다. 예를 들어, 굴곡/신전 동작이 없을 때 회전 동작에 대한 기울기는 0.025이며, 여기에 회전 동작 크기 30°를 곱하면 불편도는 0.75가 되어 이 수준을 넘으면 불편도가 1점 증가하는 것으로 하였다. 마찬가지로 60°를 곱하면 1.5가 되어 반올림하여 불편도 점수가 2점 증가한다(실제로는 1.5점이나 다른 굴곡/신전 수준에서는 1.5보다는 2.0에 더 근접하며, 각 수준별로 부하 점수를 달리하는 것보다 같은 점수를 사용하는 것이 편하기 때문에 반올림하여 2점으로 하였음). 회전과 측면 굴곡 동작이 없을 때는 Table 4 굴곡/신전 각도 옆 괄호 안에 있는 불편도 점수를 사용하면 된다. 같은 방법으로 다른 굴곡/신전 수준에 대한 회전 및 측면 굴곡 동작 자세 부하를 정하였으며, 결과는 Table 4의 'Discomfort score' 열에 정리되어 있다.

복합 목 자세 분류 체계를 도식적으로 나타내면 Figure 5와 같으며, 앞서 언급한 바와 같이 굴곡/신전 동작 점수에 Table 4에 나와 있는 회전 및 측면 굴곡 동작 점수를 더하면 주어진 목 자세에 대한 부하 점수가 된다. Table 4에는 굴곡/신전 동작 수준이 -60°, -30°, 0°, 20°, 45°와 같이 단일 값으로 구분되어 있으나, 이를 ~-60°, -60~-30°, -30~0°, 0~20°, 20~45°, 45°~의 구간으로 보면 된다. 회전 및 측면 굴곡에 대한 분류 체계도 같은 식으로 해석하면 된다. 목 자세 부하를 구하는 예를 들면, 신전 40°, 회전 60°, 측면 굴곡 30°일 때, 굴곡/신전 점수 1.5, 회전 2, 측면 굴곡 3이 되어 주어진 목 자세 부하는 1.5 + 2 + 3 = 6.5가 된다.

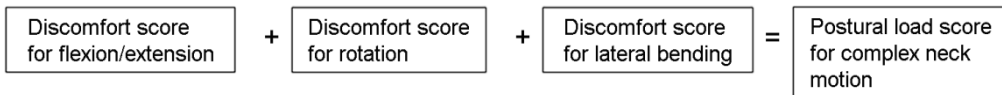


Figure 5. Classification scheme of complex neck motions

### 3.6 Validation for classification scheme

실험 처치에 따른 지각 불편도와 위에서 제시한 목 자세 분류 체계에 따라 산정한 예측 불편도 간 관계가 Figure 6에 나와 있다. Figure 6에서 보는 바와 같이 실험에서 Borg CR10으로 측정된 불편도와 예측 불편도가 강한 선형 관계를 보이고 있어, 본 연구에서 제시한 목 자세 분류 체계가 타당함을 추정할 수 있다.

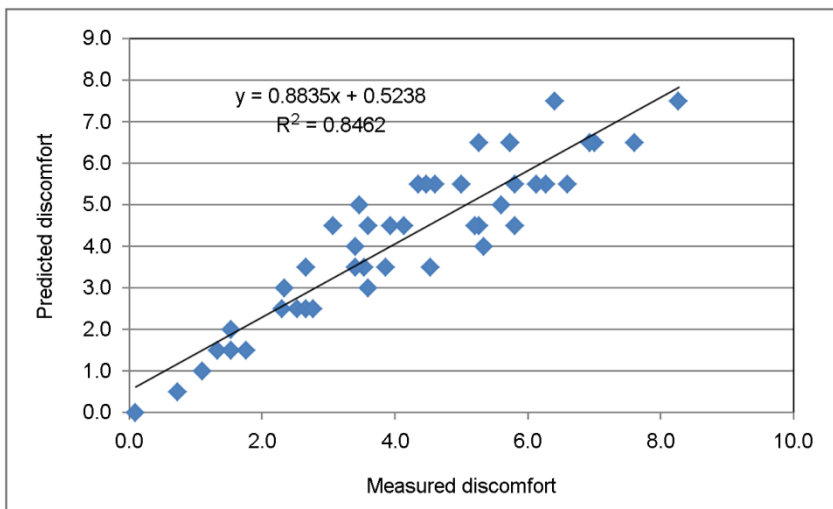


Figure 6. Relationship between measured and predicted discomforts

## 4. Discussion

본 연구에서는 복합 목 동작 분류 체계를 개발하였으며, 굴곡/신전을 기본으로 하고 이에 회전이나 측면 굴곡 동작이 발생하면 그 크기에 따라 일정 점수를 더하도록 하고 있다. 분산분석에서 신전/굴곡보다는 측면 굴곡, 회전 동작이 지각 불편도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다(Table 3). 또한, 실험 결과에 따르면 회전 혹은 측면 굴곡 동작 수준에 따라 지각 불편도 혹은 더해지는 점수가 다르게 나타났다(Figures 3 and 4, Table 4). 이러한 본 연구 결과에 의하면 회전 및 측면 굴곡 동작의 크기에 관계없이 발생만 하면 굴곡/신전 점수에 단순히 부하 점수 1을 더해주는 RULA, REBA의 목 자세 분류 체계는 목 자세 부하를 제대로 평가하지 못하고 있다 할 수 있다. 이러한 RULA, REBA의 목 자세 분류 체계는 목 자세 부하의 정확한 평가 보다, 학습 용이, 사용의 편리함 등에 보다 더 중점을 둔 분류 체계라 할 수 있다. 또한, RULA, REBA는 기존 문헌을 참조하여 목 동작 분류 구간을 정하였다고 하였으나, 그 객관적 자료를 찾기 어려웠다. 반면, 본 연구는 자세 부하의 유용한 척도로 알려져 있는 목 동작에 대한 실험을 통하여 측정된 지각 불편도를 바탕으로 하였다(Corlett and Bishop, 1976; Corlett and Manenica, 1980). 따라서, 본 연구에서 제시한 목 자세 분류 체계가 목 자세 부하를 RULA, REBA에 비하여 좀 더 정확하게 평가하고 객관적이라 할 수 있다.

본 연구에서 목 동작에 따른 지각 불편도를 Borg CR10을 이용하여 측정하였다. 이는 각 지체(예: 몸통, 어깨, 손목, 목 등)에 대한 별도의 실험 결과를 바탕으로 새로운 전신 자세 분류 체계를 개발할 때, 각 독립적인 자료를 쉽게 종합하여 사용할 수 있는 연결 고리로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 제안한 복합 목 동작 분류 체계는 목 동작 수준에 따라 부하를 달리 제안하여 RULA, REBA의 단순한 분류 체계가 가지는 문제점을 개선하였으나, 20대 대학생을 대상으로 한 실험 결과를 바탕으로 하였다. 이러한 복합 목 동작 분류 체계가 좀 더 객관성을 가지려면 다양한 연령층, 실제 산업 현장에서 일하는 사람을 대상으로 하는 연구가 요망된다.

## 5. Conclusion

본 연구에서는 목 굴곡/신전, 회전, 측면 굴곡 동작에 따른 불편도를 측정하는 실험을 수행하고, 실험 결과를 바탕으로 좀 더 객관적인 복합 목 동작 분류 체계를 제안하였다. 본 연구에서 개발한 목 동작 분류 체계는 증가 추세에 있는 목 관련 질환을 줄이기 위한 목 자세 부하 평가뿐 아니라, 새로운 전신 자세 분류 체계 개발에 한 요소로 활용될 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

- Borg, G., Borg's perceived exertion and pain scales, Human Kinetics, IL, USA, 1998.
- Corlett, E.N. and Bishop, R.P., A technique for assessing postural discomfort, *Ergonomics*, 19(2), 175-182, 1976.
- Corlett, E.N. and Manenica, J., The effects and measurement of working postures, *Applied Ergonomics*, 11(1), 7-16, 1980.
- Genaidy, A.M., Al-Shedi, A.A. and Karwowski, W., Postural stress analysis in industry, *Applied Ergonomics*, 25(2), 77-87, 1994.
- 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.



Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, 31, 201-205, 2000.

Karhu, O., Kansii, P. and Kuorinka, I., Correcting working postures in industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-201, 1977.

Kee, D., Gender differences in rankings of joint motion stressfulness based on psychophysical scaling, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35, 461-469, 2005.

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., LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based joint motion discomfort and maximum holding time, *Applied Ergonomics*, 32, 357-366, 2001a.

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, 2001b.

Kee, D. and Seo, S.R., Musculoskeletal disorders among nursing personnel in Korea, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37, 207-212, 2007.

Kilbom, A., Persson, I. and Jonsson, B., Risk factors for work related disorders of the neck and shoulder - with special emphasis on working postures and movements. In E.N. Corlett, J.R. Wilson and J. Manenica (Ed), *The ergonomics of working posture*, Taylor & Francis, London, 44-53, 1986.

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, 2019.

Yonhap News Home page, Seven workers among 10 of small and medium-sized companies in Busan, Ulsan and Kyungnam regions are suffering the work-related musculoskeletal disorders, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20160920138100051?input=1195m> (retrieved June 30, 2020).

## Author listings

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

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

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

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