JESK J Ergon Soc Korea 2020; 39(1): 31-41
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2020.39.1.31
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

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

Dohyung Kee

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

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

기 도 형

계명대학교 경영공학과

Corresponding Author
Dohyung Kee
Keimyung University, Department of Industrial and Management Engineering, Daegu, 42601
Email : dhkee@kmu.ac.kr

Received : November 14, 2019
Revised : December 13, 2019
Accepted : December 25, 2019

Copyright@2020 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: This study aims to investigate effects of complex trunk motions including flexion/extension and rotation, and external load on perceived discomfort, and to develop a new load classification scheme for complex trunk motion and external load based on the perceived discomfort.

Background: For preventing low back pain, postural stress for low back or trunk motions should be quantified. The posture classification schemes such as RULA, REBA frequently used in industrial sites 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 if the trunk is twisted or laterally bended. 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 rotation, and external load were used as independent variables. Discomfort according to complex trunk motion and external load was measured by using the Borg CR10. Sixteen healthy male college students without histories of musculoskeletal disorders participated in the experiment, whose demographic data were as follows: Age - 23.7 ± 0.60 years; Stature - 174.1 ± 4.67cm; Body weight - 67.4 ± 6.82kg.

Results: ANOVA showed that single factors of flexion/extension, rotation, and external load affected significantly on the discomfort at $\alpha = 0.01$. The effect of external load was much larger, while the effects of flexion/extension and rotation were smaller and similar. Based on the experimental results, a new classification scheme quantifying effects of external load as well as complex trunk motions was developed and validated.

Conclusion: This study investigated effects of complex trunk motions including flexion/extension and rotation, 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 will help to more precisely assess postural load according to complex trunk motions and external load.

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

1. Introduction

중립을 벗어난 몸통 자세가 들기 작업과 함께 요통을 유발하는 직접적인 위험 요인으로 알려져 있어(Punnet et al., 1991), 몸통 자세 부하에 대한 연구가 이루어져 왔다. 산업 현장에서 가장 많이 사용되고 관련 연구에서 인용이 가장 많은 자세 부하 분류 체계인 OWAS (Karhu et al., 1977), RULA (McAtamney and Corlett, 1993), REBA (Hignett and McAtamney, 2000)는 몸통 자세를 평가하기 위한 분류 체계를 갖추고 있다. OWAS는 똑 바로 폄, 20° 이상 굴곡, 20° 이상 회전, 20° 이상 회전하여 굴곡 등의 4 부류로 몸통 자세를 나누어 회전 동작의 영향을 반영하고 있다. RULA와 REBA는 신전/굴곡 동작을 기본으로 하고 회전/비틀림 혹은 측면 굴곡 동작이 발생하면 신전/굴곡 동작 부류 코드에 1을 더하여 주는 방식을 취하고 있다. 이러한 방식은 굴곡/신전, 회전 혹은 측면 굴곡 동작 수준에 관계없이 회전 혹은 측면 굴곡 동작이 발생하기만 하면 일정 부하 점수 1을 더하는 문제점이 있다. 즉, 두 가지 이상의 동작이 동시에 발생하는 복합 몸통 동작의 부하를 올바르게 평가하고 있지 못하다고 할 수 있다. 또한, 복합 몸통 동작에 대한 외부 부하의 영향은 고려되지 않았다.

Lee et al. (2001)은 굴곡/신전, 회전, 측면 굴곡 동작이 동시에 발생하는 복합 몸통 자세에 대한 지각 불편도를 측정하고 이를 바탕으로 새로운 몸통 자세 분류 체계를 제안하였다. 이 연구에서는 세 독립변수의 모든 조합에 대한 자세를 실제 취할 수 없거나 어려워 일부 자세에 대한 실험을 수행하였다. 또한, 일반적으로 자세에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 외부 부하가 변수로 고려되지 않은 한계가 있다(Carey and Galley, 2002; Kee et al., 2018; Na, 2006; Waters et al., 1993). 이러한 문제를 해결하기 위하여 위하여 Kee (2019)는 몸통 신전/굴곡, 측면 굴곡과 외부 부하를 독립변수로 한 불편도를 바탕으로 복합 몸통 자세 평가 체계를 제안하였다. Kee (2019)에 의한 연구는 몸통에서 발생 가능한 동작 중 회전이 고려되지 않았다.

몸통 동작 부하를 바르게 평가하기 위해서는 몸통 회전 동작과 그에 따른 외부 부하의 영향도 평가할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 굴곡/신전, 회전 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 제안한다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구의 복합 몸통 동작 및 외부 부하에 따른 불편도 측정에는 과거 근골격계질환 병력이 없는 16명의 건강한 남자 대학생이 참여하였다. 실험 참여자의 연령 및 신체적 특성은 다음과 같다: 연령 - 23.7 ± 0.60세; 신장 - 174.1 ± 4.67cm; 체중 - 67.4 ± 6.82kg. 모든 실험 참여자에게는 참여 시간에 따른 수당을 지급하였다.

2.2 Experimental design

몸통 동작에 따른 불편도 측정 실험에서 독립변수는 복합 몸통 동작과 외부 부하로, 종속 변수는 주관적 지각 불편도로 하였다. 복합 몸통 동작은 몸통에서 일어나는 굴곡/신전, 회전 동작으로 조절하였고, 그 수준은 Table 1에 나와 있다. 몸통 동작 수준은 굴곡/신전, 회전 동작의 동작범위(range of motion)을 기준으로 정하였고, 동작 정의 및 동작범위는 Kee and Karwowski (2001)를 따랐다. 외부 부하는 유사한 전 연구(Kee, 2019)와 실험 처치 중 부하가 큰 자세에서 실험 참여자가 지탱할 수 있는 정도를 고려하여 최대 무게를 5kg

Table 1. Experimental independent variables and levels

Trunk motion	Flexion/Extension	-20, 0, 60, 90°
	Rotation	0, 30, 60, 90°
External load		0, 3, 5kg

*Negative value: extension

으로 하였다. 외부 부하로는 아령을 사용하였다. 실험은 완전요인계획법을 채택하여 16개 몸통 자세, 외부 부하 3수준의 조합 48개 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 언제든 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, 목 옆점, 엉덩뼈 능선점에 마크를 부착하였다(Figure 1에 붉은 점으로 표시되어 있음).

실험 참여자는 오른쪽 엉덩뼈 능선점이 기준점(실험실 바닥에 표시되어 있음)에 오도록 선 자세를 취한다. 이 상태에서 오른쪽 윗팔은 몸통에 자연스럽게 붙이고 윗팔과 아래팔은 수직을 이루고, 아래팔과 손은 일직선이 되며 손바닥이 아래로 향하는 주먹을 자연스럽게 쥐는 자세를 취한다. 실험자는 고니오미터를 이용하여 실험 참여자가 실험 처치에 따른 몸통 굴곡/신전 동작을 먼저 취하게 하고, 다음으로 회전 동작을 취하도록 한다. 몸통 굴곡/신전 및 회전 동작은 고니오미터를 이용하여 Kee and Karwowski (2001)의 정의에 따라 그 크기를 측정하고 실험 처치에 따른 몸통 자세를 실험 참여자가 취하도록 하였다. 실험 참여자가 실험 처치에 따라 주어진 몸통 자세를 취하면 실험자는 실험 참여자 오른손에 외부 부하를 쥐어 준다. 실험 참여자가 실험 처치에 따른 자세를 취하면 실험자는 실험 참여자가 주어진 자세를 실험 시간 동안 유지하는데 참조할 수 있도록, 철제봉의 끝이 손이나 외부 부하 중심에 오도록 철제봉을 위치시켜 두게 하였다. 실험 참여자는 철제봉이 가리키고 있는 손이나 외부 부하가 철제봉 끝에서 멀어지지 않도록 주어진 자세를 유지하도록 노력하고, 실험자는 이를 관찰하고 있다 손이나 외부 부하가 철제봉 끝에서 크게 멀어지면 실험을 중단시킨다. 중단된 실험은 추후 재시행 된다. 왼쪽 팔은 몸에 자연스럽게 붙인 상태에서 실험을 수행한다(Figure 1).

Figure 1. An experimental posture

실험자가 실험 참여자의 준비 상태를 확인 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.

2.4 Discomfort rating

실험 처치에 따른 불편도는 Borg CR10으로 측정하였다(Borg, 1998). 실험 참여자에게 Borg CR10을 실험 전에 설명하고 실험 도중 필

요할 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, 회전과 외부 부하가 지각 불편도에 미치는 영향의 정도를 분석하기 위하여 분산분석을 실시하였다(Table 3). 몸통 굴곡/신전, 회전과 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 회전의 영향 정도는 비슷한 것으로 나타났다. 굴곡/신전과 회전, 굴곡/신전과 외부 부하 간 교호작용은 지각 불편도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 회전과 외부 부하 간 교호작용은 유의하지 않는 것으로 분석되었다.

Table 3. ANOVA results

Source	DF	Mean square	*F* value	Pr > *F*
Flexion/extension (F)	3	6.39	156.81	< 0.01
Rotation (R)	3	6.72	164.89	< 0.01
External load (L)	2	78.56	1,927.84	< 0.01
F*R	9	0.22	5.44	< 0.01
F*L	6	0.19	4.65	< 0.01
R*L	6	0.06	1.51	0.23
Error	18	0.73		

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. 전체적으로는 포물선 형태를 띠었다. 단위 동작에 대한 불편도는 굴곡 동작보다는 신전 동작에서 크게 나타났고 SNK 검정(Student-Newman-Keuls test)에서 굴곡/신전 동작 수준별로 네 그룹으로 나누어졌다.

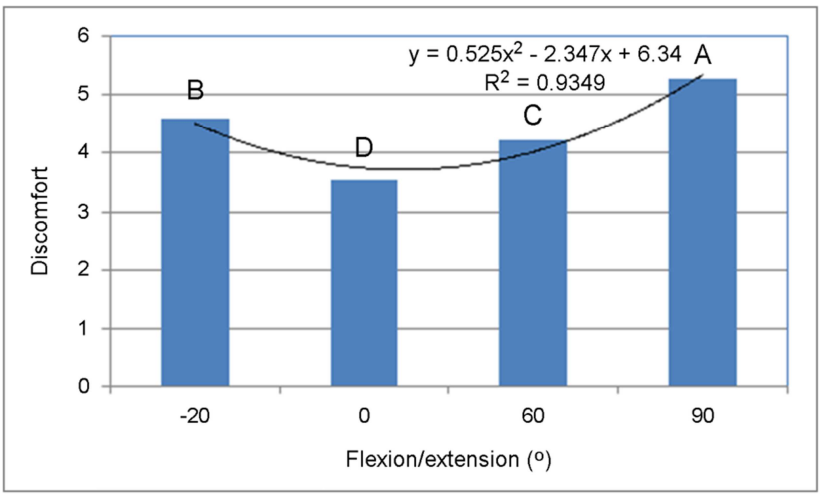


Figure 2. Effect of trunk flexion/extension

3.3 Trunk rotation

몸통 회전 정도가 증가하면 지각 불편도가 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다(Figure 3). SNK 검정에서 불편도 크기는 회전 동작 수준별로 네 그룹으로 구분되었다.

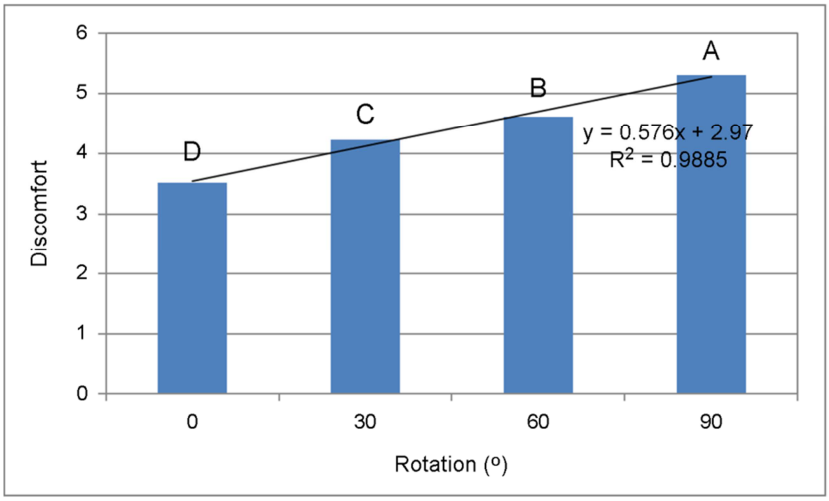


Figure 3. Effect of trunk rotation

3.4 External load

불편도는 외부 부하가 커짐에 따라 선형적으로 증가하는 추세를 보였다(Figure 4). 이에 따라 SNK 검정에서도 지각 불편도가 외부 부하 수준에 따라 세 그룹으로 나누어졌다.

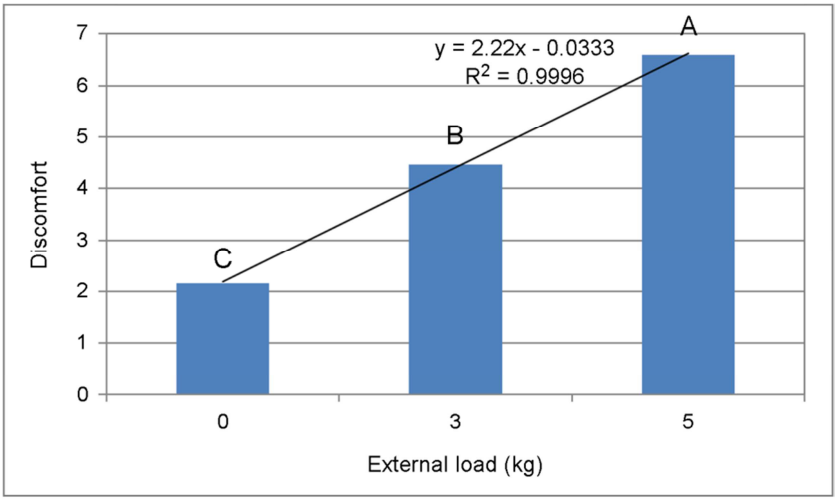
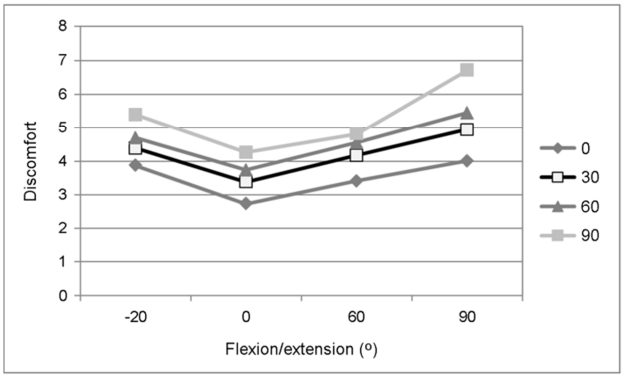


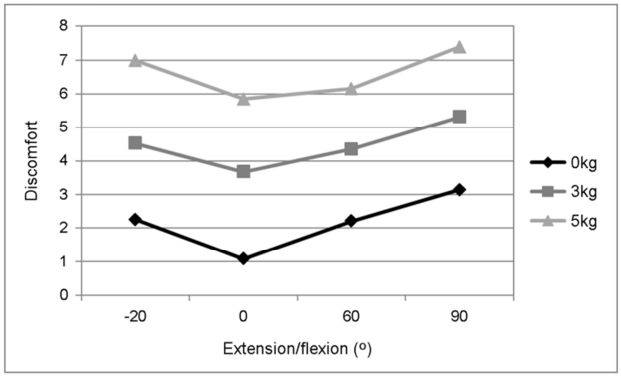
Figure 4. Effect of external load

3.5 Interaction effects

몸통 회전 동작별 굴곡/신전에 따른 지각 불편도 추세가 Figure 5(a)에 나와 있다. 회전 동작별로 큰 차이는 없으나 회전 동작이 커질수록 굴곡/신전 동작의 영향이 크게 나타났다. 회전 동작이 0°, 30°, 60°일 때는 굴곡/신전에 따른 불편도의 추세가 유사하였으나, 90°일 때는 조금 다른 추세를 보였다. 외부 부하 크기별 굴곡/신전 동작에 따른 불편도는 신전 혹은 굴곡 동작에 따라 거의 선형적으로 증가하는 유사한 추세를 보였다(Figure 5(b)).



(a) Flexion/extension and rotation



(b) Flexion/extension and external load

Figure 5. Interaction effects

3.6 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, 회전 동작이 발생하거나 외부 부하가 있을 경우 일정 점수를 더하여 주는 방식으로 개발하였다. 이를 위하여 굴곡/신전 동작 수준별로 불편도를 종속변수로 하고 몸통 회전과 외부 부하를 각각 독립변수로 하는 2회의 단순회귀 분석을 통하여 각 회귀식의 기울기를 구하였다(Table 4). 기울기를 굴곡/신전 동작 수준별로 구하였기 때문에 기울기는 회전 및 외부 부하 별로 각 4개가 되고, 기울기는 단위 회전 동작 또는 단위 외부 부하에 따른 불편도 증가 양이 된다.

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

		Rotation		External load	
		Slope	Discomfort score	Slope	Discomfort score
Flexion/extension (°)	-20 (1.5)	0.016	>45°: 1	0.93	1.0~1.5kg: 1; 1.5~3.0kg: 2; 3.0~4.0kg: 3; 4.0~5.0kg: 4
	0 (0.0)	0.017	>45°: 1	0.95	
	60 (1.5)	0.015	>45°: 1	0.78	1.0~2.0kg: 1; 2.0~3.0kg: 2; 3.0~4.0kg: 3; 4.0~5.0kg: 4
	90 (2.0)	0.029	>30°: 1	0.84	

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

몸통 회전 혹은 외부 부하 분류 체계는 Table 4에 나와 있는 기울기 값에 회전 혹은 외부 부하 크기를 곱할 때 불편도 값이 정수 단위에 가까운 값이 되고, 각도는 구분이 쉽고 외부 부하는 0.5kg 단위가 되도록 구간을 정하는 방식으로 개발하였다. 예를 들어, 신전 20°일 때 회전 기울기(0.016)에 45(회전 동작 각도 크기의 예)을 곱하면 불편도 증가 양이 0.72가 되어 1.0에 가깝고, 45°는 자주 사용하는 각도로 구분이 쉬워 회전 45° 이상에서는 부하 점수를 1로 하였다. 실제 회전 50°가 기울기와 곱하면 0.8로 45° 보다 1.0에 더 가까우나 각도 구분의 용이성을 고려하여 45°를 기준으로 정하였다. 외부 부하의 경우도 신전/굴곡 -20°일 때 단위 외부 부하에 대한 불편도 기울기 값(0.93)에 4kg을 곱하면 3.72이 되고, 사용 편의성을 고려하여 부하 점수를 가까운 정수인 4로 하였다. 다른 굴곡/신전 동작 수준에 대해서도 같은 방식으로 외부 부하 크기를 곱하여 가까운 정수 단위로 부하 점수를 부여하였다. 이와 같이 산출된 회전과 외부 부하에 대한 분류 체계는 Table 4 'Discomfort score' 열에 정리되어 있으며, 회전과 외부 부하 없이 굴곡/신전 동작만 일어날 때의 불편도 점수가 Table 4 굴곡/신전 동작 수준 옆 괄호 안에 병기되어 있다. 외부 부하 분류 체계는 한 손에 걸리는 외부 부하 크기에 대한 불편도 점수이다.

복합 몸통 동작에 따른 불편도는 굴곡/신전 동작에 따른 불편도에 회전 또는 외부 부하에 의한 불편도 증가 양을 더하여 구한다(Figure 6). Table 4에 굴곡/신전 동작 수준이 -20°, 0°, 60°, 90°와 같이 단일 값으로 구분되어 있으나, 이를 ~-20°, -20~60°, 60~90°, 90°~의 구간으로 보면 된다. 예를 들어, 신전 20°, 회전 60°, 외부 부하 2kg일 때 복합 몸통 자세 부하는 1.5 + 1.0 + 2.0 = 4.5가 된다.

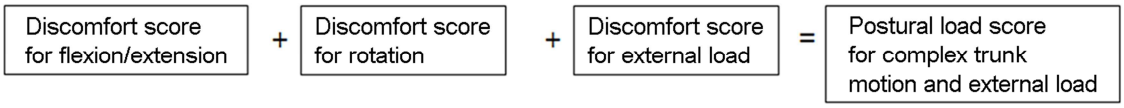


Figure 6. Classification scheme of complex trunk motion and external load

3.7 Validation for classification scheme

실험에서 사용한 48개 실험 처치에 대한 지각 불편도와 위에서 개발된 분류 체계로 계산된 불편도 간 관계가 Figure 7에 나와 있다. 측정된 불편도와 추정 불편도가 강한 양의 선형 관계를 보여 개발된 복합 몸통 동작 및 외부 부하에 대한 분류 체계가 타당하다 할 수 있다.

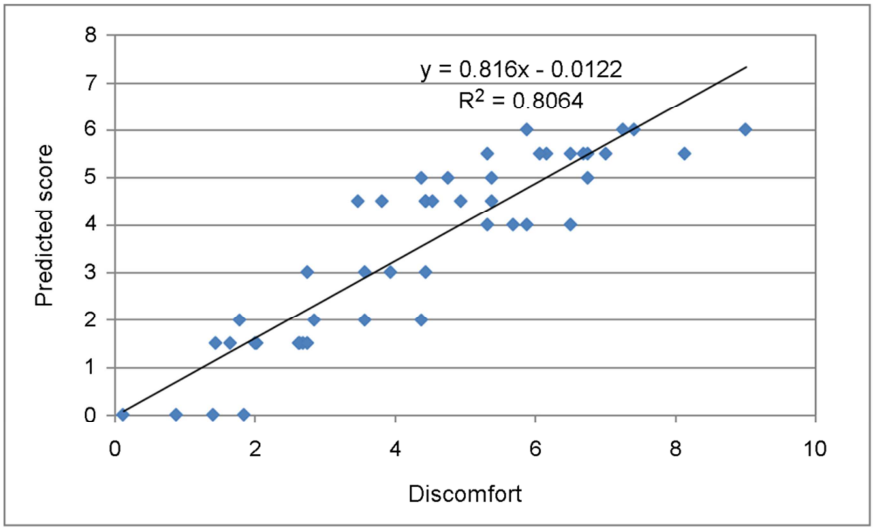


Figure 7. Relationship between measured and predecited discomforts

4. Discussion

본 연구는 몸통 굴곡/신전, 측면 굴곡, 회전 동작 간 교호작용이 유의하지 않다는 Lee et al. (2001)의 연구 결과를 근거로, 몸통에서 일어나는 동작 중 굴곡/신전, 회전 동작을 대상으로 불편도를 측정하고 이를 바탕으로 복합 몸통 동작 분류 체계를 개발하였다. Kee (2019)에서 다룬 몸통 굴곡/신전, 측면 굴곡에 대한 분류 체계와 본 연구 결과를 통합하면 완성된 복합 몸통 동작에 분류 체계를 수립할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 개발한 복합 몸통 동작 분류 체계는 굴곡/신전 동작의 부하 점수에 회전 동작이 일정 수준 이상이 발생할 경우에 1점을 더하도록 하고 있다. 이는 몸통 회전 동작의 크기에 관계없이 발생만 하면 단순히 부하 점수 1을 더해주는 RULA, REBA 자세 분류 체계에 문제가 있음을 보인 것이라 할 수 있다. 또한, 본 연구는 복합 몸통 동작과 함께 외부 부하의 영향을 평가할 수 있는 분류 체계를 제시하여 RULA, REBA에 비하여 비하여 진일보 하였다 할 수 있다. 몸통 굴곡 60°인 상태에서 몸통 회전 및 외부 부하에 따른 OWAS, RULA, REBA 및 본 연구에서 제안한 분류 체계에 의한 자세 부하가 Table 5에 나와 있다. Table 5에서 보는 바와 같이 OWAS, REBA는 몸통 회전과 외부 부하 크기에 관계없이 각각 action category 및 REBA score가 2로 같게 나타났고, RULA는 몸통 회전의 영향은 없으나 외부 부하 크기에 따라 grand score가 3 혹은 4로 약간의 차이를 보였다. 반면, 본 연구에서 개발한 몸통 동작 분류 체계는 몸통 회전 및 외부 부하 크기에 따라 몸통 동작 부하가 1.5~6.5로 차이를 보였다. 따라서, OWAS, RULA, REBA에 비하여 본 연구에서 제시한 분류 체계가 몸통 동작 부하를 좀 더 정확하게 평가할 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 생체역학적 부하, 역학(疫學)적 자료와 같은 객관적 척도가 아닌 Borg CR10을 이용하여 측정한 주관적 불편도를 바탕으로 복합 몸통 동작 및 외부 부하 분류 체계를 제안하였으나, 다음 연구 결과를 고려할 때 타당성이 있다 하겠다: 첫째, 불편도는 자세 부하의 유용한 척도이다(Corlett and Bishop, 1976; Corlett and Manenica, 1980); 둘째, 불편도를 최소화하면 근골격계질환 위험을 줄

Table 5. Examples of postural loads by OWAS, RULA, REBA and this study

Flexion/extension	Rotation	External load	OWAS	RULA	REBA	This study
60°	0° more and <45°	0~1.0kg	2	3	2	1.5
		1.0~1.5kg	2	3	2	2.5
		1.5~3.0kg	2	3 or 4	2	3.5
		3.0~4.0kg	2	4	2	4.5
		4.0~5.0kg	2	4	2	5.5
	>45°	0~1.0kg	2	3	2	2.5
		1.0~1.5kg	2	3	2	3.5
		1.5~3.0kg	2	3 or 4	2	4.5
		3.0~4.0kg	2	4	2	5.5
		4.0~5.0kg	2	4	2	6.5

*: Every joint motion is assumed to be neutral except for trunk flexion/extension and rotation

일 수 있다(Dul et al., 1994); 셋째, 불편도는 정적 자세에 대한 독립적 평가 기준이 될 수 있다(Dul et al., 1994); 넷째, 불편도는 사용하기 쉽고 자세 부하를 평가하는데 다양한 목적으로 사용될 수 있다(Kee and Lee, 2012). 그러나, 추후 객관적 자료에 기반하여 몸통 동작 부하 분류 체계를 개발하는 연구가 수행되면 좀 신뢰성이 높은 체계를 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 정량적 실험 결과를 바탕으로 복합 몸통 동작 및 외부 부하에 대한 분류 체계를 제시하여, 몸통 동작 부하를 다룬 기존 연구에 비하여 좀 더 체계적이고 객관적이라 할 수 있다. 그러나, 본 연구는 외부 부하가 5kg으로 제한되었고 제한된 실험 참여자 성별 및 참여자 수를 대상으로 오른쪽 팔에 대해서만 실험실 환경에서 수행되었다. 또한, 실험 크기를 조절하기 위하여 팔 자세를 윗팔은 몸에 자연스럽게 붙이고 아랫팔은 윗팔과 90°를 이루는 자세로 제한하였다. 위와 같은 점을 개선할 수 있는 연구가 향후 수행된다면 좀 더 현실적 연구 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

5. Conclusion

본 연구에서는 몸통 굴곡/신전, 회전 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 평가와 새로운 자세 분류 체계 개발에 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.

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.

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.

Dul, J., Douwes, M. and Smitt, P., Ergonomic guidelines for the prevention of discomfort of static postures can be based on endurance data, *Ergonomics*, 37, 807-815, 1994.

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., Classification scheme for complex trunk motion and external load based on perceived discomfort, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 38(2), 95-104, 2019.

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.

Kee, D. and Lee, I., Relationships between subjective and objective measures in assessing postural stresses, *Applied Ergonomics*, 43, 277-282, 2012.

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.

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.

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.

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