JESK J Ergon Soc Korea 2019; 38(3): 253-264
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2019.38.3.253
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Comparison of Workloads of Lumbar Flexion Work according to Work-rest Cycle Time

Ju-Hee Lee, Yong-Ku Kong, Hyun-Ho Shim, Jae-Kyeong Kim, Min-Uk Cho, Chae-Won Park, Kyeong-Hee Choi

Sungkyunkwan University, Department of Industrial Engineering, Suwon, 16419

작업-휴식 주기 변화에 따른 허리 굴곡 작업의 작업 부하 비교

이주희, 공용구, 심현호, 김재경, 조민욱, 박채원, 최경희

성균관대학교 산업공학과

Corresponding Author
Kyeong-Hee Choi
Sungkyunkwan University, Department of Industrial Engineering, Suwon, 16419
Mobile : +82-10-4596-9850
Email : kyunghe7@naver.com

Received : April 28, 2019
Revised : May 01, 2019
Accepted : June 18, 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 aims of this study is to compare the workloads at different work-rest period (Standard & non-standard work) in lumbar flexion work and to find a more suitable cycle time for the worker.

Background: In the industrial field, there are many works that cause lumbar flexion and it is main risk factor associated with Work-related Musculoskeletal Disorders (WMSDs). To reduce the workload of the worker, a lot of study has been studied on the work-rest cycle time and standard working hours. Nevertheless, in the field, 'non-standard work' without adequate rest period is frequently performed by workers to finish work fast. This non-standard work can cause more fatigue and pressure on the worker.

Method: The experiment was conducted on 20 male adults. Participants performed the same task at the same time with two different work-break periods. The standard work consisted of 30 seconds of work / 15 seconds of rest, and the non-standard work consisted of 600 seconds of work / 300 seconds of rest. Two type of tasks were repeated for a total of 45 minutes. A variety of biomarkers were used to compare workloads (Flexion-relaxation phenomenon (FRP) parameter, EMG-signal, Heart rate, Subject discomfort rating).

Results: In the FRP variables, it was confirmed that the non-standard work caused more fatigue than the standard work. In the EMG-signal, there was more load in the non-standard work than standard work. There was no significant difference in heart rate and subjective discomfort, however, it is expected that there will be a significant difference in long hours of work more than 8 hours.

Conclusion: Despite the short working hours, non-standard work caused more fatigue than standard work, which is likely to show a bigger difference in actual working time (more than 8 hours). Therefore, managers should encourage to comply with standard work hours to reduce workload of workers.

Application: This study is expected to encourage workers to comply the standard working time, and further reduce industrial accidents caused by excessive work.

Keywords: Work-rest cycle time, Work load, Muscle fatigue, EMG analysis, Flexion Relaxation Phenomenon (FRP), Subject discomfort, Borg's CR-10

1. Introduction

자동차 제조 라인에서는 허리의 부자연스러운 자세와 중량물 취급으로 인한 허리의 부담이 빈번하게 발생하며(Gallagher and Hamrick, 1991; Kim et al., 1998), 이는 요통과 같은 근골격계질환(Work-related Musculoskeletal Disorders; WMSDs)의 주요 원인이 될 수 있다(Hertzberg, 1955; Putz-Anderson, 1988). 자동자 제조 관련 연구에 따르면, 자동차 제조업 종사자의 87.3%가 적어도 한 부위 이상 통증을 호소하였으며, 그 중 허리 통증이 50.4%로 가장 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다(Kim et al., 2009). 자동차 제조업뿐만 아니라 대부분의 제조분야에서 작업자들이 공통적으로 통증을 호소하는 부위는 허리이며(Kim et al., 2009), 이에 따라 허리부담을 감소시키기 위한 체계적인 연구가 필요한 실정이다.

작업자의 신체 부하를 감소시키는 방안은 다양하게 제시되고 있지만, 이 중 작업시간에 대한 개선은 모든 작업 공정에 대하여 일괄적으로 적용이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 작업시간에 대한 다양한 연구가 진행되었으며, 이러한 연구를 기반으로 각 작업에 대한 표준작업시간들이 산정되었다. 그러나 실제 현장에서는 연구 기반으로 산정된 표준작업시간(작업시간과 휴식시간)의 준수보다는, 휴식시간 없이 작업을 미리 앞당겨 수행하는 이른바 '선행작업'이 빈번히 수행되고 있다. 이러한 선행작업(Non-standard work)은 표준작업(Standard work)에 비해 피로가 집약적으로 누적되어 작업자의 신체에 큰 부담을 발생시킬 수 있지만, 선행작업의 심각성과 이를 개선하기 위한 연구는 많이 부족한 실정이다.

작업자의 피로를 정량화하기 위해 Flexion-Relaxation Phenomenon (FRP)에 대한 연구가 진행되어 왔는데, FRP는 허리나 목을 최대로 굴곡시키면 근전도 신호가 급격히 감소하는 현상으로, Active tissue(근육)와 Passive tissue(디스크, 인대, 건)의 하중 분담 메커니즘으로 인해 나타난다고 보고된다(Floyd and Silver, 1955; Schultz et al., 1985; Solomonow et al., 2003; Zwambag and Brown, 2015). 이는 주로 건강한 사람의 목과 허리에서 나타나는 현상으로 근육의 이상 여부나 피로의 척도로도 사용된다(Golding, 1952; Ahern et al., 1988; Mannion et al., 2001; Murphy et al., 2010). FRP는 개인별로 차이를 보이기 때문에, 개인별 차이를 정규화하기 위해서 FRR (Flexion Relaxation Ratio)와 EMG-off 변수가 주로 사용된다. 허리의 움직임을 (1) 정자세 유지 (2) 전방 굴곡 (3) 최대 굴곡 유지 (4) 신전의 4단계로 구분한다면, FRR은 신전구간(4)의 최대 근활성도 값을 최대 굴곡 유지(3) 구간의 평균값으로 나눈 값을 의미한다. FRR은 근육에 피로가 발생하면 감소하는 경향을 보인다(Nimbarte et al., 2014; Shin and Yoo, 2014). 또한, EMG-off는 최대 굴곡 시 근전도 신호가 Relaxation 하는 순간을 말하며 근육에 피로가 쌓이면 빠르게 일어나는 경향을 보인다(Descarreaux et al., 2008; Nimbarte et al., 2014).

본 연구의 목표는 표준작업과 선행작업에 따른 작업자의 신체부담을 비교/분석하는 것이다. 이를 위해서 자동차 제조 라인에서 빈번하게 수행되는 스크류 체결을 Task로 선정하였으며, 실제 현장 Data를 기반으로 표준작업과 선행작업을 정의하였다. Task type (Standard & Non-standard work)에 따른 작업자의 피로를 비교하기 위해서 근전도(FRR, EMG-Off, Amplitude, Frequency)와 주관적 불편도를 사용하여 정량화 하였다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구는 상지에 근골격계질환이 없는 20~30대 남성 20명을 대상으로 이루어졌다. 피험자의 평균 연령은 22.1±2.8세이었으며, 평균 키와 체중은 각각 174.0±5.5cm와 72.6±12.1kg이다.

2.2 Experiment environment

실제 자동차 조립 공정에서 수행되는 스크류 작업을 구현하기 위해 2개의 작업대를 자체 제작하였다. 목재판에 가시너트를 삽입하여 볼트의 삽입과 추출을 반복적으로 수행할 수 있도록 하였으며, 작업대의 높이와 너비는 실제 작업환경과 유사하도록 제작하였다(가로 120cm, 세로 45cm, 높이 50cm). 허리를 90°로 구부린 자세로 스크류 작업을 수행하였으며, 차체간 이동이 이루어지는 선행작업을 구현하기 위하여, 작업대와 작업대 사이 거리는 실제 조립 라인의 차량간 거리와 유사한 5m 간격으로 설정하였다(Figure 1).

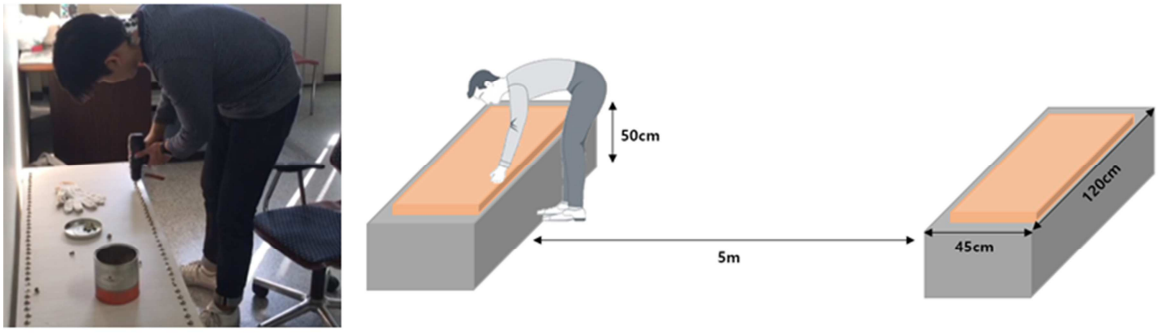

Figure 1. Experiment setting

2.3 Experimental design

독립변수로 Task type (Standard & Non-standard work)과 시간(pre/post), 그리고 Work trial을 선정하였다. Task type에서 표준작업(Standard work)은 30초 작업과 15초 휴식을 한 주기로 60회 반복하여 진행하였고, 선행작업(Non-standard work)은 30초 작업을 20회 반복한 후, 300초 휴식을 취하는 것을 3번 반복하여 두 작업 모두 동일하게 45분간 진행하도록 하였다. Task type에 관련된 시간은 국내 자동차 기업의 근골격계 유해요인조사 데이터를 이용하여 설정되었으며, 휴식시간은 작업시간의 50%로 설정하였다. 휴식시간 동안에는 피험자가 앉아서 휴식을 취할 수 있도록 의자를 제공하였다.

Task 수행 전(pre)과 후(post)의 FRR 값의 변화를 비교하기 위하여 시간(pre/post)을 독립변수로 정의하였다. Work trial은 작업의 반복 횟수에 따른 frequency의 변화를 살펴보기 위하여 설정된 변수로서, 60회 반복작업 중 1~10회(초반), 26~35회(중반), 51~60회(후반)에 frequency를 측정하였다. 이 때 표준작업의 경우, 데이터에 휴식시간이 포함되어 사후 처리를 통해 휴식시간의 데이터를 제외한 후 분석하였다. 종속변수로는 FRR (Flexion Relaxation Ratio), EMG-off, EMG data (amplitude, frequency), 주관적 불편도가 선정되었으며, 정의는 다음과 같다.

2.3.1 Amplitude

EMG의 amplitude의 경우, 반복작업이 이루어짐에 따라 같은 강도의 작업을 수행하더라도 더 높은 근활성도가 필요할 수 있다(Kim 2009). 이는 운동신경단위가 피로하여 수축력이 감소하게 되고 이를 보완하기 위해 추가적인 운동신경단위를 필요로 하여 발화율이 증가하기 때문이라고 알려져 있다(Park and Lee, 1991). Amplitude는 task 수행 전후(pre/post)의 휴식상태에서 측정하였으며, 이를 이용하여 task type과 task 수행 전/후에 따른 근육의 피로도 차이를 비교하였다.

2.3.2 Frequency

EMG frequency는 근육이 피로하게 되면 감소하는 경향이 있으므로(Fitts and Holloszy, 1976; Grimby et al., 1981; Kranz et al., 1983), 근육의 피로 여부를 판단하는 신뢰도 높은 지표로 사용되고 있다. Frequency는 Work trial (Early, middle, late phase)에 따라 총 3회 측정하였으며, 감소 정도를 확인하기 위해 task 초반의 데이터를 기준으로 하여 % Frequency로 환산하여 감소량을 분석하였다.

2.3.3 FRR (Flexion Relaxation Ratio)

FRR은 전방 굴곡 시 목 신근의 이완능력을 정량화하는 지표로서, 완전굴곡구간(Phase 3)의 평균과 회복구간(Phase 4)의 최댓값의 비율을 뜻한다(Alschuler et al., 2009; Zabihhosseinian et al., 2015). FRR은 Equation (1)과 같이 정의되며, Task 수행 전/후로 각각 3회씩 측정하였다.

$$\mathrm{FRR} = \frac{Maximum\ EMG\ in\ Phase\ 4}{Average\ EMG\ in\ Phase\ 3} \quad \cdots\cdots \text{Equation (1)}$$

2.3.4 EMG-off time (sec.)

EMG-off는 굴곡 과정에서 모멘트가 Active tissue에서 Passive tissue로 전이되는 순간으로, 근전도 신호가 relaxation하는 순간을 의미한다. Relaxation 하기 시작하는 순간은 완전굴곡구간(Phase 3) 평균의 3배(Jin et al., 2012)를 기준으로 하였다(Figure 2).

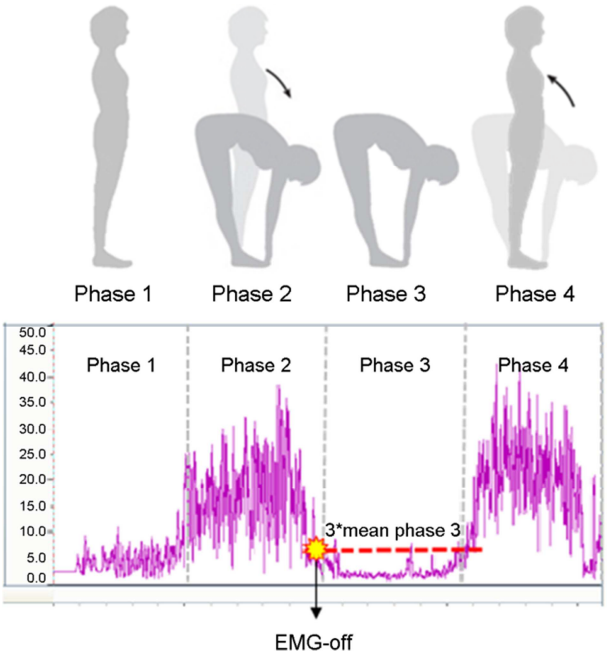

Figure 2. Flexion-relaxation phenomenon (FRP) and EMG-off

2.3.5 Subjective discomfort rating

Task에 따른 피험자의 주관적 불편도를 측정하기 위해서, 운동강도 표현에 널리 사용되는 Borg's CR-10 Scale이 사용되었다(Borg and Kaijser, 2006; Lee and Jung, 2016). 주관적 불편도는 피험자의 목, 어깨, 팔, 다리, 그리고 전신에 대하여 평가하였으며, Task 수행 전후(pre/post)로 2차례 평가되었다.

2.4 Instrumentation

본 연구는 허리 근육의 근전도 평가를 위해 Noraxon사의 근전도 측정기 DTS System (TeleMyo 2400 DTS, Noraxon, Arizona, USA)을 사용하였다. 허리 근육의 신호를 얻기 위해 요추부 척추기립근(LES) L4 수준에서 좌우로 2.5cm 떨어진 지점에 부착하였으며, 데이터는 1,000Hz로 수집하였으며, Bandpass filter를 통해 EMG 신호의 특징점을 나타내는 주파수 대역인 80~250Hz만 수집하였다. 또한 체간의 심장박동으로 인한 영향을 최소화하기 위해 ECG 필터를 사용하였다.

2.5 Experimental procedure

본 실험을 수행하기 전, 피험자에게 실험의 목적과 방법 등에 관련된 정보를 제공하였으며, 키와 몸무게 등의 신체 치수를 측정하였다. EMG data의 수집을 위하여 요추부에 전극을 부착하였으며, task 수행 전/후로 FRR과 주관적 불편도를 측정하였다.

허리의 FRR 측정을 위해, 피험자는 허리를 중립상태로 하여 정면을 바라보고 서있는 자세로 실험을 시작하였다. FRR은 4개의 구간(Phase 1: 중립자세 유지; Phase 2: 굴곡; Phase 3: 최대 굴곡 유지; Phase 4: 중립자세로의 회귀)으로 나누어(Figure 2) 측정하였으며(Zabihhosseinian et al., 2015), 각 Phase를 5초간 유지하도록 하였다. 또한 굴곡, 신전 시 일정한 속도를 유지하고 피험자간의 차이를 없애기 위해 메트로놈을 이용하여 청각적 피드백을 제시하였다. FRR은 task 전/후로 각각 3회씩 측정되었다.

피험자는 설정된 Work-rest cycle time에 따라 작업과 휴식을 반복하였으며, 두 task type (Standard, Non-standard work) 모두 45분간 수행하였다. 휴식 시점에 대한 정보는 실험자가 피험자에게 구두로 제공하였으며, 휴식 시에는 착석자세로 휴식을 취할 수 있도록 하였다. 피로로 인한 영향을 최소화하기 위해 선행작업과 표준작업은 각각 다른 날에 수행되었으며, 따라서 총 이틀에 걸쳐 실험이 진행되었다.

2.6 Statistical analysis

통계분석은 SPSS (SPSS Inc, release 18.0, Chicago, Illinois, USA)를 이용하여 분석하였으며, 유의수준은 0.05로 설정하였다. Task type(표준작업, 선행작업)과 시간(pre/post), work trial에 따른 종속변수의 차이를 비교하기 위해 분산분석을 이용하여 분석을 실시하였으며, Tukey test를 이용하여 사후분석을 실시하였다. EMG 데이터는 모두 시상면에 대해 대칭이므로 방향은 따로 고려하지 않았다. FRR의 경우, 6개의 FRR 데이터(좌/우*3회 측정)는 최대, 최소값을 제외한 4개의 데이터를 분석에 사용하였다.

3. Results

3.1 FRR

FRR에 대한 Task type (Standard & Non-standard work)의 주효과는 통계적으로 유의하지 않았으나, 시간(pre/post)의 주효과는 유의한 것으로 나타났다($p<0.05$). Task를 수행하기 전(Pre, 30.89)과 비교하였을 때, 작업 수행 후(Post, 35.40)의 FRR이 유의하게 증가한 것으로 나타났다(Figure 3). Task type과 시간(pre/post)의 교호작용은 유의하지 않았다.

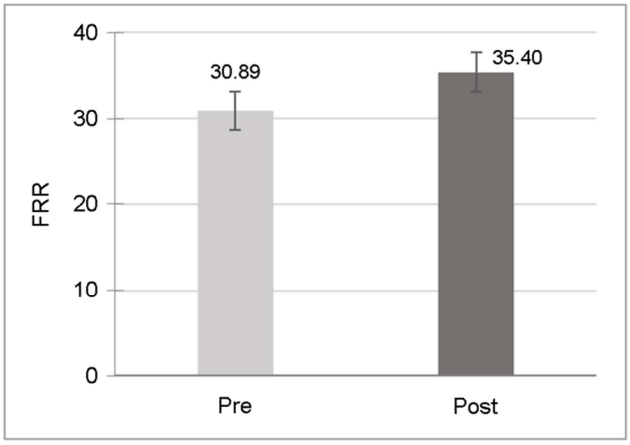

Figure 3. FRR according to time (pre/post)

3.2 EMG-off

EMG-off에 대한 task type의 주효과는 통계적으로 유의하였으며(p<0.05), Non-standard work의 EMG-off는 8.43sec로 Standard work (8.62sec)보다 빠르게 나타났다(Figure 4, left). 시간(pre/post)의 주효과와 task type과 시간(pre/post)의 교호작용은 통계적으로 유의하지 않았지만, 표준작업의 경우, Task 후에 FRR이 소폭 증가한 반면, 선행작업은 Task 수행 후에 FRR이 감소하는 것으로 나타났다(Figure 4, right).

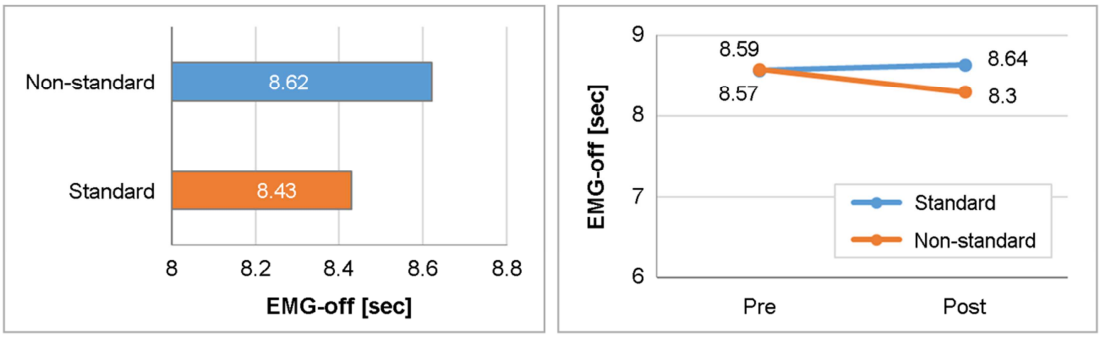

Figure 4. EMG-off according to task type (left) and Interaction effect between time(pre/post) and task type (right)

3.3 % Frequency

% Frequency에 대한 Task type (p=0.226)과 Work trial (p=0.053)의 주효과는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다(p<0.05). 그러나 허리의 % Frequency는 초반과 비교하여 중반(0.88)과 후반(0.9)에서 소폭 감소하는 경향이 나타났다(Figure 5, left). 비록, Task type과 Work trial의 교호작용은 통계적으로 유의하지 않았지만, 선행작업은 시간에 따라 감소하는 경향을 보이는 반면, 표준작업은 감소 후 소폭 회복되는 경향이 나타났다(Figure 5, right).

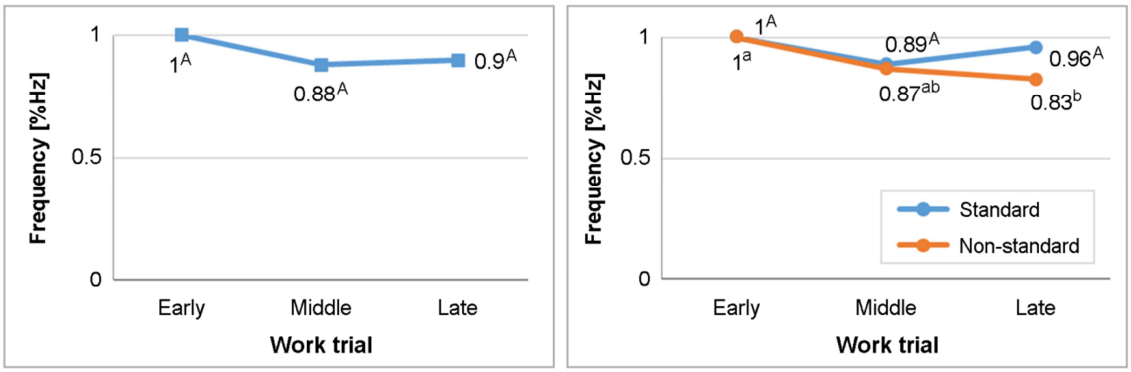

Figure 5. Main effect of work trial (left) and Interaction effect between work trial and task type

3.4 Amplitude

Amplitude에 대한 Task type의 주효과는 유의하지 않았으나, 시간(pre/post)의 주효과는 통계적으로 유의하였다(p<0.01). Task 수행 후

(post)의 FRR 값은 3.91로 수행하기 전(pre, 3.03)보다 유의하게 증가하는 경향을 보였다(Figure 6, left). Task type과 시간(pre/post)의 교호작용은 유의하지 않았지만, 표준작업보다 선행작업에서 더 큰 폭으로 증가하는 경향을 확인할 수 있다(Figure 6, right).

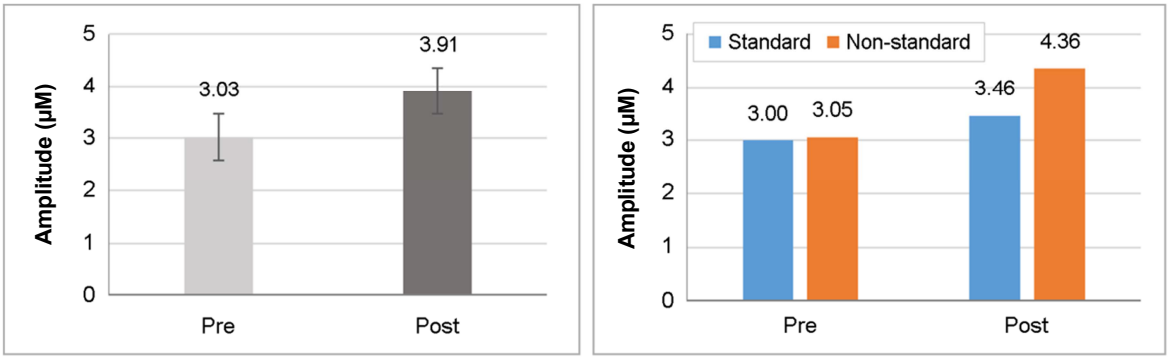

Figure 6. Amplitude according to time(pre/post) (left) and Interaction effect between time and task type (right)

3.5 Subjective discomfort rating

Task type에 따른 주관적 불편도는 선행작업이 2.12, 표준작업이 2.06으로 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다($p<0.05$). 주관적 불편도는 Task 수행 후에 유의하게 증가하였으며($p<0.01$) (Figure 7, left), 신체부위별로 서로 다른 경향을 나타냈다($p=0.04$) (Figure 7, right). Task 전/후로 불편도가 가장 크게 증가한 신체부위는 허리였으며, 팔과 어깨에서 가장 작은 불편도의 증가량이 관찰되었다(Figure 7, right).

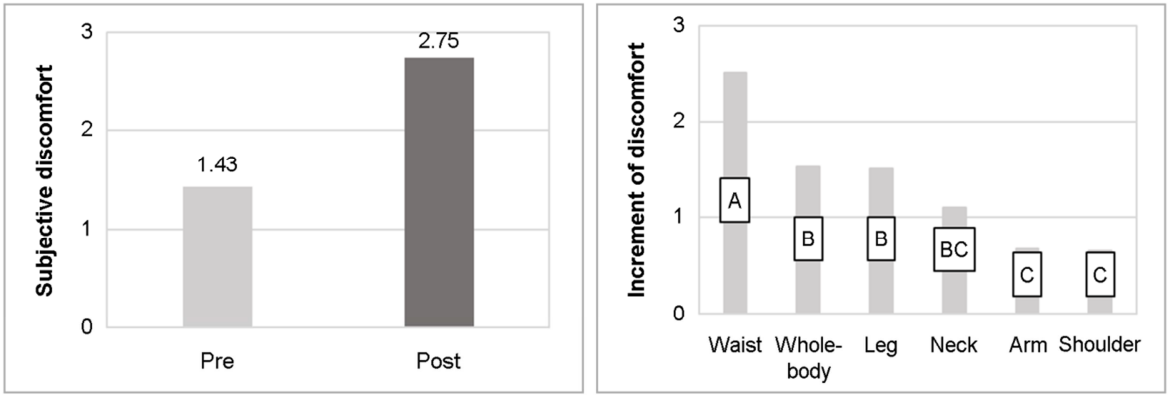

Figure 7. Subject discomfort according to time (left) and Increasing of subject discomfort rating according to body part (right)

4. Discussion & Conclusions

본 연구는 허리를 굴곡 및 유지하는 작업에서 서로 다른 두 Work-rest cycle time에 따라 작업자의 작업 부하를 비교하기 위해 수행되었다. 본 연구에서는 FRR이 작업 후(post)에 35.40으로 작업 전(Pre) 30.89에 비해 통계적으로 유의하게 증가하였다. 이는 피로 후에 FRR이 감소한다는 기존의 연구 결과와는 다소 다른 경향을 나타낸다(Shin, 2012; Nimbarte et al., 2014; Zabihhosseinian et al., 2015). 하지만

기존의 연구들은 모두 목의 피로와 관련된 실험으로써, 허리의 피로를 연구한 본 연구와 직접적인 비교는 불가능하다고 할 수 있다. FRR에 대한 허리와 목의 차이는 근육의 특성과 FRR의 특성에서 비롯한다고 예상할 수 있다. 허리 근육은 목의 근육보다 크기 때문에 기본적인 amplitude 값이 목의 amplitude 보다 크게 나타난다. 뿐만 아니라, 허리의 FRR은 목의 FRR과 달리 relaxation의 정도가 MVC의 1% 미만까지 떨어지기 때문에(Dickey and Gillespie, 2003), Phase 4(중립자세로 회귀구간) 신호의 작은 변화에도 민감하게 반응한다. Horn and Bishop (2013)의 연구에서는 FRR은 허리의 피로 여부를 판별하기에 적합하지 않다고 주장한 바 있으며, 또한 Descarreaux et al. (2008)의 연구에서도 허리의 부하에 따른 FRR은 유의미한 차이가 없는 것에 반해, EMG-off가 보다 더 유의미하게 빨리 일어나는 결과를 보였다는 연구 결과를 확인할 수 있다.

따라서, 허리의 피로 여부는 EMG-off로 확인할 수 있는데, 본 연구에서도 기존 Descarreaux et al. (2008)의 연구 결과와 유사한 결과를 보였다. 즉, type(선행작업, 표준작업)에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 선행작업에서 EMG-off가 더 빠르게 나타났다. 교호작용은 유의하지 않았지만, 표준작업은 task 전/후에 큰 변화가 없는 반면, 선행작업은 task 후에 EMG-off가 더 빠르게 나타나는 경향을 확인할 수 있다. 이는 active tissue와 passive tissue와의 하중 분담 메커니즘을 통해 이해할 수 있다. 이전 연구에 의하면, EMG-off는 active tissue와 passive tissue 중 어느 부위에 부담이 되는지 여부에 따라 다른 양상을 보인다(Jin and Mirka, 2015; Jin, 2018). 'Active tissue 피로 프로토콜'에서는 근육이 피로함에 따라 근육에서 부담해야 하는 굴곡 모멘트를 유지하기 어려워 더 빠르게 passive tissue로 전이하려는 양상이 나타나는 반면, 이와는 반대로 'Passive tissue 피로 프로토콜'에서는 디스크, 건, 그리고 인대에서 굴곡 모멘트를 부담하기 어려우므로, 가능한 늦게 전이 받으려는 양상이 나타난다. 따라서, active tissue가 피로할 때는 EMG-off가 빠르게 나타나며, passive tissue가 피로할 때는 EMG-off가 늦게 나타나는 경향을 보인다. 본 연구에서는 허리의 frequency가 시간에 따라 유의하게 감소하는 경향을 보임으로써, active tissue 피로 프로토콜이라 볼 수 있으며, 선행작업 후에 EMG-off가 감소한 것으로 보아, 표준작업보다는 선행작업에서 더욱 허리에 부담이 되는 것을 확인할 수 있다.

이러한 경향은 근전도 data의 frequency에서도 동일하게 나타나며, 표준작업은 시간에 따라 감소하였다가 증가하였지만, 선행작업은 시간에 따라 꾸준히 감소하는 경향이 나타났다. EMG frequency는 근육이 피로하면 산화로 인해 전도 속도가 감소하기 때문에 낮아지는 경향을 보인다(Fitts and Holloszy, 1976; Grimby et al., 1981; Kranz et al., 1983). 따라서, 선행작업은 표준작업보다 허리에 더 부담이 가는 것을 확인할 수 있다. 근전도 data의 amplitude의 경우, 근육이 피로하면 수축력이 감소하게 되고 같은 힘 수준에서 더 많은 운동단위가 필요하게 되어 발화율이 증가하기 때문에, 결과적으로 피로 후에 amplitude가 증가하게 된다(Park and Lee, 1991). 본 연구에서는 task 수행 후에 유의하게 증가하였으며, 교호작용에서는 표준작업 후에 증가 폭보다 선행작업 후에 더 크게 증가한 것으로 보아 amplitude에서도 역시 표준작업보다 선행작업에서 더 큰 피로감이 나타나는 것임을 확인할 수 있다.

결론적으로 본 연구 결과는 반복적인 허리 굴곡작업에서 긴 작업-휴식 주기(선행작업)가 짧은 작업-휴식 주기(표준작업)보다 작업자의 허리에 더 큰 부담을 줄 수 있음을 확인하였다. 이는 생리학적 관점에서, 작업시간이 증가할수록 피로의 누적 속도는 증가하며, 누적된 피로의 양이 많을수록 피로 회복에 걸리는 시간은 노출시간보다 훨씬 더 많은 시간을 요구하기 때문으로 알려져 있다(Lee et al, 2008). 따라서, 이는 짧은 주기의 휴식이 피로를 최소화할 수 있다는 이전 연구의 결과와 같은 결과라 할 수 있다(Rohmert, 1973; Shieh and Chen, 1997; Balci and Aghazadeh, 2003, Lee et al., 2008).

본 연구의 한계점은 낮은 부하의 task로 인해 피험자에게 충분한 피로감을 주지 못해 연구의 결과가 뚜렷한 차이를 보이지 않은 것에 있다. 하지만, 긴 작업-휴식 주기에서 더 피로한 경향이 나타난 것으로 보아 실제 8시간 이상의 장시간 작업에서는 차이가 나타날 것이라 예상된다. 또한, 두 가지의 주기만을 비교하였다는 점과 실제 작업자와의 연령 차이가 이 연구의 한계점이라 할 수 있다. 향후 이러한 한계점을 보완하여 실험한다면 더 의미 있는 결과가 도출될 것이라 예상된다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ012509032018)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Ahern, D.K., Follick, M.J., Council, J.R., Laser-Wolston, N. and Litchman, H., Comparison of lumbar paravertebral EMG patterns in chronic low back pain patients and non-patient controls. *Pain*, 34(2), 153-160, 1988.

Alschuler, K.N., Neblett, R., Wiggert, E., Haig, A.J. and Geisser, M.E., Flexion-relaxation and clinical features associated with chronic low back pain: a comparison of different methods of quantifying flexion-relaxation. *Clinical Journal of Pain*, 25, 760, 2009.

Balci, R. and Aghazadeh, F., The effect of work-rest schedules and type of task on the discomfort and performance of VDT users. *Ergonomics*, 46(5), 455-465, 2003.

Borg, E. and Kaijser, L., A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 16(1), 57-69, 2006.

Descarreaux, M., Lafond, D., Jeffrey-Gauthier, R., Centomo, H. and Cantin, V., Changes in the flexion relaxation response induced by lumbar muscle fatigue. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 9(1), 10, 2008.

Dickey, J.P. and Gillespie, K.A., Representation of passive spinal element contributions to in vitro flexion-extension using a polynomial model: illustration using the porcine lumbar spine. *Journal of Biomechanics*, 36(6), 883-888, 2003.

Floyd, W.F. and Silver, P.H.S., The function of the erectores spinae muscles in certain movements and postures in man. *The Journal of Physiology*, 129(1), 184-203, 1955.

Fitts, R.H. and Holloszy, J.O., Lactate and contractile force in frog muscle during development of fatigue and recovery. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 231(2), 430-433, 1976.

Gallagher, S. and Hamrick, C.A., The kyphotic lumbar spine: Issues in the analysis of the stresses in stooped lifting. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 8(1), 33-47, 1991.

Grimby, L., Hannerz, J. and Hedman, B., The fatigue and voluntary discharge properties of single motor units in man. *The Journal of Physiology*, 316(1), 545-554, 1981.

Golding, J.S.R., Electromyography of the erector spinae in low back pain. *Postgraduate Medical Journal*, 28(321), 401, 1952.

Hertzberg, H.T.E., Some contributions of applied physical anthropology to human engineering, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 63(1), 616-629, 1955.

Horn, M.E. and Bishop, M.D., Flexion relaxation ratio not responsive to acutely induced low back pain from a delayed onset muscle soreness protocol. *ISRN Pain*, 2013.

Jin, S. and Mirka, G.A., A systems-level perspective of the biomechanics of the trunk flexion-extension movement: Part II-Fatigued low back conditions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 46, 1-6, 2015.

Jin, S., Ning, X. and Mirka, G.A., An algorithm for defining the onset and cessation of the flexion-relaxation phenomenon in the low back musculature. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(3), 376-382, 2012.

Jin, S., Biomechanical characteristics in the recovery phase after low back fatigue in passive and active tissues. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 64, 163-169, 2018.

Kim, C.H., Lee, M.H. and Moon, M.G., Analysis characteristics of musculoskeletal disorder according to various tasks, *Proceedings of the Ergonomics Society of Korea Conference,* 20-27, 2009.

Kim, S.H., Chung, M.K., Kee, D.H. and Lee, I.S., Posture characteristics in automobile assembly tasks, *Proceedings of the Ergonomics Society of Korea*, 31-35, 1998.

Kim, W.H., Electromyographic analysis of muscle activity and fatigue of the paraspinal muscles during a repetitive lifting task, Physical Therapy Korea, 16(3), 16-23, 2009.

Kranz, H., Williams, A.M., Cassell, J., Caddy, D.J. and Silberstein, R.B., Factors determining the frequency content of the electromyogram. *Journal of Applied Physiology*, 55(2), 392-399, 1983.

Lee, I.S., Roger, H. and Song, Y.W., Comparison of different work/rest schedules of a repetitive upper-limb task based on perceived discomfort and heart rate, *Journal of the Korean Society of Safety*, 23(5), 119-124, 2008.

Lee, O. and Jung, J.W., Validity of Borg's category ratio 10 scale during maximal-graded exercise testing. Exercise Science, 25(2), 92-99, 2016.

Mannion, A.F., Taimela, S., Müntener, M. and Dvorak, J., Active therapy for chronic low back pain: part 1. Effects on back muscle activation, fatigability, and strength. *Spine*, 26(8), 897-908, 2001.

Murphy, B.A., Marshall, P.W. and Taylor, H.H., The cervical flexion-relaxation ratio: reproducibility and comparison between chronic neck pain patients and controls. *Spine*, 35(24), 2103-2108, 2010.

Nimbarte, A.D., Zreiqat, M.M. and Chowdhury, S.K., Cervical flexion-relaxation response to neck muscle fatigue in males and females. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 24(6), 965-971, 2014.

Park, H.S. and Lee, K.M., Myoelectric signal change during submaximal isometric contraction. *Journal of Korean Academy of Rehabilitation Medicine*, 15(2), 74-81, 1991.

Putz-Anderson, V., Cumulative trauma disorders: a manual of musculoskeltal diseases of the upper limbs, Taylor & Francis, 1988.

Rohmert, W., Problems of determination of rest allowances, Part 2: Determining rest allowances in different human tasks, *Applied Ergonomics*, 4(3), 158-162, 1973.

Schultz, A.B., Haderspeck-Grib, K., Sinkora, G. and Warwick, D.N., Quantitative studies of the flexion-relaxation phenomenon in the back muscles. *Journal of Orthopaedic Research*, 3(2), 189-197, 1985.

Shieh, K.K. and Chen, M.T., Effects of screen color combination, work-break schedule, and workpace on VDT viewing distance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20(1), 11-18, 1997.

Shin, S.J., Changes in pressure pain in the upper trapezius muscle, cervical range of motion, and the cervical flexion relaxation

ratio after overhead work, *Master thesis*, Inje University, Pusan, Korea, 2012.

Shin, S.J. and Yoo, W.G., Changes in neck and back pain, cervical range of motion and cervical and lumbar flexion-relaxation ratios after below-knee assembly work. *Journal of Occupational Health*, 56(2), 150-156, 2014.

Solomonow, M., Baratta, R.V., Banks, A., Freudenberger, C. and Zhou, B.H., Flexion-relaxation response to static lumbar flexion in males and females. *Clinical Biomechanics*, 18(4), 273-279, 2003.

Zwambag, D.P. and Brown, S.H.M., Factors to consider in identifying critical points in lumbar spine flexion relaxation. *Journal of Electromyography and Kinesiology,* 25(6), 914-918, 2015.

Zabihhosseinian, M., Holmes, M.W., Ferguson, B. and Murphy, B., Neck muscle fatigue alters the cervical flexion relaxation ratio in sub-clinical neck pain patients. *Clinical Biomechanics*, 30(5), 397-404, 2015.

Author listings

Ju-Hee Lee: heyj_hee@naver.com
Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan Universiy
Areas of interest: Physical Ergonomics, WMSDs

Yong-Ku Kong: ykong@skku.edu
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Professor, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, WMSDs, Finger/Hand Modeling

Hyun-Ho Shim: shim2906@naver.com
Highest degree: B.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan Universiy
Position title: M.S., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, Occupational Safety and Health

Jae-Kyeong Kim: kjg9244@naver.com
Highest degree: B.S., Division of Mechatronics Engineering, Dongseo University
Position title: M.S., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, Occupational Safety and Health

Min-Uk Cho: crayonmm@naver.com
Highest degree: B.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan Universiy
Position title: M.S., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, Finger/Hand Modeling

Chae-won Park: cwrachel@naver.com
Highest degree: B.S., Department of Computer Science, Bachelor's Degree Examination for Self-Education
Position title: M.S., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

Areas of interest: Physical Ergonomics, Finger/Hand Modeling

Kyeong-Hee Choi: kyunghe7@naver.com
Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan Universiy
Position title: Ph.D., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, Prosthesis