JESK J Ergon Soc Korea 2023; 42(4): 369-384
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2023.42.4.369
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Evaluation for Workloads of Delivery Workers during Loading/Unloading Tasks based on Regular, Low-floor, and EV Newly Designed Delivery Trucks

Yong-Ku Kong[1], Heung-Youl Kim[2], Sang-Soo Park[1], Jin-Woo Shim[1], Hyunji Keum[1], Seungjae Son[1], Suk Lee[3], Soon-Kyo Lee[3], U-Ri Chae[3], Hyun-Ho Shim[1]

[1]Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419
[2]Physical Education Center, Nanzan University, Japan
[3]Logistics System Research Department, Korea Railroad Research Institute, Gyenggi-do, 16105

배송 탑차에 따른 상·하차 작업에서 택배 배송기사들의 신체 부하 평가

공용구[1], 김흥열[2], 박상수[1], 심진우[1], 금현지[1], 손승재[1], 이석[3], 이순교[3], 채우리[3], 심현호[1]

[1]성균관대학교 산업공학과
[2]난잔대학교 체육교육센터
[3]한국철도기술연구원 첨단물류시스템연구실

Corresponding Author
Hyun-Ho Shim
Department of Industrial Engineering,
Sungkyunkwan University, Suwon, 16419
Email : shim2906@naver.com

Received : July 22, 2023
Revised : July 27, 2023
Accepted : August 17, 2023

Copyright@2023 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The aim of this study was to evaluate the workloads of delivery workers when performing loading and unloading tasks for three types (a regular truck, a low-floor truck, which has a low loading height of cargo, and a new design EV low-floor truck) of trucks.

Background: Recently, the physical and mental loads of delivery workers were increased, causing the risk of work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) due to the rapidly increasing volumes of parcels from COVID-19 and the demand for low-floor trucks to access apartment parking lots.

Method: Ten adult men who had no musculoskeletal disorders were recruited and performed loading and unloading tasks of 5kg boxes for three types of trucks and three working zones for each truck in this study. The EMG was attached to the upper trapezius (UT), erector spinae (ES), rectus femoris (RF), biceps femoris (BF), tibialis anterior (TA), gastrocnemius (GAS), and the motion sensors were also attached to collect shoulder, back, and knee flexion angles. Subjective discomfort scores also be collected to compare pre- and post-task.

Results: As a result of the experiment, muscle activity decreased by about 8.2~22.4% when working the EV truck, except for the lumbar muscle. In the case of motion, the flexion angles of the shoulder and back also decreased 8.1~40.3% and 8.1~25.7%, respectively, for the EV truck. Although the back-flexion angles when one did tasks in regular and low-floor trucks were greater than that of the EV truck, the reason why the lumbar muscle activities were lower than that of the EV vehicle was explained by the flexion-relaxation phenomenon (FRP) in the discussion section. Subjective discomfort ratings for whole-body and local body parts (neck, shoulder, arm, back) also showed that EVs and regular trucks had better subjective ratings than low-floor trucks.

Conclusion: The workloads of delivery workers were less in the EV truck, which was

newly designed than the regular and low-floor trucks based on the analyses of muscle activities, body flexion angles, and subjective ratings in this study.

Application: The findings of this study are expected to be used as data to provide information on the physical workloads of delivery workers in low-floor trucks and are also expected to be used as fundamental data for the evaluation process for various delivery vehicles in the future.

Keywords: Work Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs), EMG, Xsens, Work loads, Parcel delivery work

1. Introduction

물류산업 및 무선 통신의 발전으로 인한 물류량 증가와 함께 코로나 19의 영향으로 택배 수요가 증가함에 따라 택배 물량이 급증하였다. 이로 인한 택배 종사자의 업무량 증가에 따른 택배 배송기사들의 신체적, 정신적 작업부하 등의 문제는 매우 심각한 문제로 대두되고 있으며, 실제로 택배 배송기사의 80% 이상은 근골격계질환을 경험하고 있다고 보고된다(Silva et al., 2020; 2021; Silva et al., 2022).

Cho et al. (2015)의 연구에 따르면 택배 배송기사는 일주일에 70시간 이상을 근무하고 있으며, 휴식 및 식사시간을 제외하더라도 하루 12시간 이상 근무를 하고 있다. 또한 하루에 취급하는 박스의 양은 평균적으로 약 100박스에 달한다고 보고된다(Kim and Choi, 2021). 많은 작업량과 작업시간을 필요로 하는 택배 배송기사의 작업은 화물 분류, 배송, 수탁 및 집화와 같은 반복적인 작업으로 구성되어 있다. 특히 이러한 작업은 보통 어깨 들림과 무릎을 굽히는 쪼그려 앉기 작업 그리고 허리를 구부려서 물건을 들어올리는 부적절한 자세에 쉽게 노출되어 있어, 대부분의 택배 배송 종사자들은 근골격계질환에 취약한 실정이다(Harcombe et al., 2009). 특히, 배송 시 반복되는 계단 오르기 및 다양한 부피와 무게의 배송물들의 상·하차 작업이 택배 업무의 주 업무라고 할 수 있다. 택배 배송기사의 근골격계질환은 택배 물건 분류와 함께 상·하차 작업 중 발생하는 중량물 취급으로 인해 허리, 어깨, 다리 부위에 추간판장애나 염좌 등이 발생한다고 보고된다(Kim and Choi, 2021). Lee (2019)의 연구는 택배 배송기사의 물리적 작업환경 중 중량물 취급(88.3%)을 가장 큰 문제로 보고하였으며, 이 외에도 지속적으로 서 있는 자세, 허리를 굽히는 자세, 그리고 쪼그려 앉아있는 자세 등 작업 수행 시 발생하는 부적절한 자세들 또한 주요 문제로 보고하였다. 따라서, 택배 업무의 가장 큰 문제점은 부적절한 자세와 반복적인 중량물 취급으로 인한 근골격계질환의 발생으로 볼 수 있다(Mbang Bian et al., 2022).

택배 배송차량의 종류에 따른 배송기사의 근골격계질환의 잠재적 위험 또한 새로운 문제로 대두되고 있다. 기존의 일반 탑차의 경우 새로 건설된 신도시형 아파트의 지하주차장 입구 높이보다 높아 출입이 어려워, 이를 보완하기 위해 지하주차장의 입구 높이에 맞춰진 저상 탑차가 최근 도입되었다. 하지만 저상 탑차의 경우 적재칸의 높이가 약 1,270~1,400mm에 불과하여 배송물 상차 및 하차 작업을 수행하는 데 있어 작업자의 허리 굴곡 자세가 더욱 발생하여 배송기사들의 육체적 부담이 가중되고 있다. 또한, 낮아진 높이에 따른 물류 적재량의 감소로 인한 경제적 손실이 발생하고 있다.

본 연구의 목적은 현재 운영되고 있는 일반 탑차와 저상 탑차의 문제점을 보완하고자 새로 개발될 EV 저상형 탑차에 대한 인간공학적 평가를 통해, 기존 탑차에 비해 상차 및 하차 작업 수행 시 발생하는 택배 종사자들의 작업 자세와 근력 등 신체적 작업부담과 정신적 작업부담을 얼마나 경감시켜 주는지에 대한 정량적 그리고 정성적 평가를 진행하였다. 이를 위해 근전도 측정을 통한 근육부하, 모션 캡쳐 시스템을 통한 신체 각도를 분석하고 전신 불편도와 신체 부위별 불편도를 평가하여 세 종류의 차량에서의 작업에 따른 신체부담을 비교분석 하였다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구는 전신에 근골격계질환이 없는 건강한 20대 성인 남성 10명을 대상으로 진행하였으며, 피험자의 연령, 신장, 체중과 관련된

정보는 Table 1과 같다. 실험에 앞서 각 피험자들에게 실험에 대한 목적과 절차에 대해 설명하였고, 성균관대학교 생명윤리위원회로부터 IRB (approval#: SKKU 2022-10-051) 승인을 받았다.

Table 1. Anthropometric data of the participants (mean ± standard deviation)

Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)
22.6±2.5	179.1±6.8	70.1±13.9

2.2 Experimental conditions

본 연구를 수행하기 위해 3가지 종류의 탑차를 설치하였다. 우선 범용적으로 사용되고 있는 일반 탑차와 저상 탑차의 제원과 동일한 적재함을 설치하였으며, 기존 탑차의 장점을 반영하고, 단점을 보완하여 EV 저상형 탑차의 목업을 제작하여 Figure 1과 같이 설치하였다.

Figure 1. Three types of delivery trucks (regular truck-left; low-floor truck-middle; EV low-floor truck-right)

일반 탑차의 경우 높이 1,580mm, 길이는 2,400mm, 너비는 1,670mm로 일반적으로 많이 사용되는 화물 트럭의 제원과 유사하게 선정하였다. 저상 탑차의 경우 높이 1,270mm, 길이 2,810mm, 너비 1,640mm로 일반 탑차와 높이를 제외하고 나머지 사양은 유사하게 선정하였다. EV 저상형 탑차의 경우 본 연구를 위하여 한국철도기술연구원에서 자체적으로 제작한 것으로 물류 관련 작업자의 근골격계 부하 절감을 위해 새롭게 설계하였다. 화물칸의 최고/최소 높이는 각각 1,682mm, 1,386mm, 너비는 1,860mm, 길이 3,435mm로 제작하였다. 본 연구에서 평가한 3종류의 탑차들의 제원은 아래의 Table 2와 같다.

Table 2. Specifications for three types of delivery trucks

	Regular truck	Low-floor truck	EV low-floor truck
Height (mm)	1,580	1,270	1,386~1,682
Length (mm)	2,400	2,810	3,435
Width (mm)	1,670	1,640	1,860

택배기사는 탑차 전체 구역에 박스를 적재하기 때문에, 이와 유사한 작업을 수행할 수 있도록 탑차의 입구를 기준으로 하여 구역을 3가지(Zone 1, 2, and 3)로 나누어 선정하였다. Zone 1은 입구로부터 3.0m 지점으로, 이는 차량 내부 가장 안쪽 지점에 해당한다. Zone 2는 입구로부터 1.5m 지점으로 선정하였으며, Zone 3은 차량 가장 바깥쪽 지점으로 작업을 수행할 때 밖에서 작업할 수 있도록 하였다.

작업을 수행할 때 사용할 박스의 무게를 설정하기 위하여 C사 서울 송파와 부산 해운대 캠프의 물품 박스, 프래시백 무게 측정 자료를 분석한 결과, 두 Case 모두 5kg 이하의 무게 분포가 70~90% 이상으로 분석되어, 본 실험에서 작업 수행을 위한 박스의 무게를 5kg으로 지정하였다.

2.3 Apparatus

본 연구는 상차 및 하차의 작업 수행 시 발생하는 근육의 부하를 정량적으로 평가하기 위해 근전도(Delsys, Trigno Avanti Sensor, USA)를 사용하였으며 상부승모근(UT), 척추기립근(ES), 대퇴직근(RF), 대퇴이두근(BF), 전경골근(TA), 비복근(GAS) 등 허리와 다리 총 6개의 근육(Figure 2)에 부착하였다(Zipp, 1982). 각 피험자의 근육에 따른 정규화를 수행하기 위해 최대자의적수축근력(MVC)을 측정하였다(Mirka, 1991). 근전도는 1,500Hz로 수집하였으며, band pass filter (20~450Hz)로 6th order butterworth filter를 수행한 뒤, RMS (root-mean square: 50ms)를 사용하여 smoothing을 수행하였다.

Figure 2. EMG measurement system (left) and locations of EMG sensor attachments (right)

또한 각 탑차 종류에 따른 작업 자세의 정량적 분석을 위해 IMU (Inertia Measure Unit) 기반의 센서인 MVN Awinda (Xsens Technology B.V., Netherlands)를 사용하였으며, 전신에 총 17개의 Sensor를 부착(Figure 3)하여 어깨, 허리, 그리고 무릎의 각도 등의 데이터를 수집하였다(Garg and Owen, 1994; Retsas and Pinikahana, 2000; Trinkoff et al., 2002; Smith et al., 2006; Choi, 2019).

Figure 3. Locations of IMU motion sensor attachments

2.4 Experimental procedure

실험을 시작하기에 앞서, 피험자에게 실험의 목적과 절차 등의 정보를 안내하였으며 개인정보 활용 동의서를 작성하였다. 실험 수행을 위해 3개 종류의 탑차 각각의 상차 및 하차에 대한 방법에 익숙해질 수 있도록 일정 시간 연습을 수행하였다. 이후 피험자의 신체 사이즈(신장, 체중, 어깨 높이, 골반 높이 등)을 측정하였으며 근전도 센서와 모션 센서를 부착한 뒤, 실험을 수행하였다.

피험자들은 3개의 Task Zone에 각각 5kg의 박스 4개를 상차 및 하차하는 작업을 수행하였다. 실제 택배 작업과 유사한 작업을 수행하기 위해 일반 및 저상 탑차의 경우 Zone 1, 2의 상차 작업을 수행할 때에는, 화물칸의 높이가 지면으로부터 700mm이므로, 화물칸 입구에 쌓은 뒤 적재함으로 올라가 해당 Zone에 적재 작업을 수행하였다. 반면, EV 저상형 탑차의 경우, 화물칸의 높이가 지면으로부터 340mm이므로, 야외에 놓인 박스를 화물칸 입구에 따로 적재하지 않고 해당 Zone에 바로 적재하였다. Zone 3의 상차 작업을 수행할 때에는 세 탑차 모두 적재함에 올라가지 않은 채로 야외에서 박스를 적재하였다. 하차의 경우 상차의 역순으로 진행하였으며, 피실험자 마다 탑차의 종류와 Task Zone의 순서는 임의로 진행하였다(Figure 4). 서론에서 언급한 바와 같이 택배기사들은 다양한 무게의 중량물의 운반 작업과 함께 허리, 어깨 및 무릎의 부적절한 자세로 인해 근골격계질환의 위험에 노출되어 있다. 따라서, 본 연구에서는 최대한 허리 굽힘, 어깨 들림, 그리고 쪼그려 앉는 무릎 자세를 필요로 작업을 반영하기 위해 박스 적재 작업을 대표 동작으로 선정하여 평가하였다. 각 작업이 끝난 후, 5분간의 휴식 시간을 제공하여 근육 피로도의 효과를 최소화하였다.

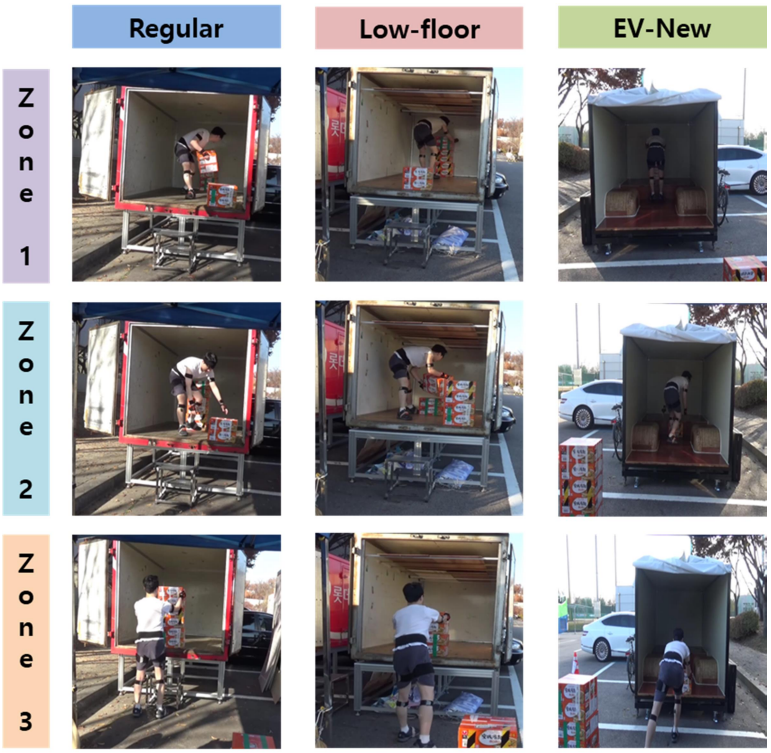


Figure 4. Loading/unloading tasks for types of trucks (zones 1, 2, and 3)

마지막으로 Task 시작 전, 후로 해당 작업에 대한 주관적 불편도(전신, 목, 어깨, 팔, 허리, 다리)를 작성하였다(Figure 5). 전신 불편도 평가 척도는 Borg's RPE Scale을 사용하였으며(Borg, 1998; Theurel et al., 2018), 신체 부위별 불편도 측정을 위해서는 Borg's CR-10 Scale을 사용하였다(Borg, 1982; Kim et al., 2015).

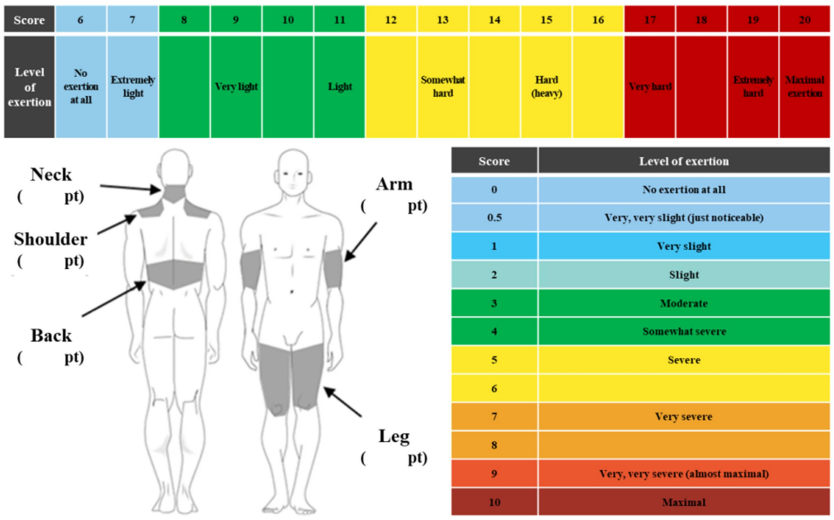


Figure 5. Borg's RPE Scale (top), Borg's CR-10 Scale (bottom)

2.5 Statistical analysis

통계 분석은 SPSS 25 (SPSS Inc, Chicago, Illinois, USA)을 이용하여 분석하였으며, 탑차의 종류, Task Zone에 따른 각 신체 근육의 활성도(EMG)와 작업 자세에 대하여 이원배치 분산분석(Two-way ANOVA)을 수행하였으며, 작업 전후에 따른 주관적 불편도의 변화는 paired *t*-test를 수행하였다. 이 때 유의수준은 0.05로 설정하였으며, 유의한 변수들에 대하여 Tukey-test로 사후분석을 수행하였다.

3. Results

3.1 EMG

근전도 분석의 경우 Car Type에 대한 주효과는 척추기립근(ES)의 50%ile, 상부승모근(UT)의 90%ile에서 통계적으로 유의하게 나타났다 (Figure 6). 허리 근육(ES, 50%ile)의 경우, EV 저상형 탑차(20.6%MVC)가 일반 탑차(16.2%MVC)와 저상 탑차(14.3%MVC)보다 각각 약 27.2%와 44.1% 높은 근활성도를 보였다. 반면, 어깨 근육인 UT의 90%ile은 EV 저상형 탑차(19.1%MVC)가 일반 탑차(20.8%MVC)와 저상 탑차(24.6%MVC)보다 각각 약 8.2%, 22.4%의 근육 부담의 경감 효과를 보였으며, 일반 탑차는 저상 탑차보다 약 15.4% 경감 효과를 보였다.

통계적으로 유의하지는 않았지만, 일반적으로 UT, RF, TA 근육의 경우 50%ile에서 EV 저상형 탑차가 일반 및 저상 탑차에 비해 각각 약 11.7~27.4%, 3.3~6.3%, 3.2~12.4% 낮은 근활성도를 보였으며, 90%ile에서도 역시, RF, TA 근육에서 EV 저상형 탑차가 각각 7.3~10.3%, 1.9~4.2% 낮은 근활성도 경향을 보였다.

Zone Type에 대한 주효과는 대퇴직근(RF), 전경골근(TA)의 90%ile, 대퇴이두근(BF)의 50, 90%ile에서 통계적으로 유의하게 나타났다 (Figure 7).

RF와 TA의 90%ile은 Zone 1과 Zone 2에서 가장 큰 근활성도(RF: 20.2%MVC and 19.0%MVC; TA: 27.4%MVC and 27.3%MVC)를 보였으며, Zone 3 (RF: 13.6%MVC; TA: 22.8%MVC)에서는 상대적으로 낮은 근활성도를 보였다. BF의 경우 또한, 50%ile, 90%ile 모두 Zone 1, 2에서 가장 큰 근활성도를 보였으며(Zone 1: 10.4%MVC and 31.7%MVC; Zone 2: 9.9%MVC and 27.8%MVC for 50%ile and 90%ile, respectively). Zone 3에서 작업 시 50%ile와 90%ile에서 각각 22.2~26.0% and 22.3~31.9% 낮은 근활성도를 보였다.

Figure 6. Muscle activities associated with car types

Figure 7. Muscle activities associated with zone types

Car Type과 Zone Type의 교호작용의 경우, ES의 50%ile, BF의 90%ile에서 통계적으로 유의한 결과를 나타냈다.

ES의 50%ile의 경우, EV 저상형 탑차의 Zone 1, 2 (Zone 1: 22.1%MVC, Zone 2: 21.9%MVC)가 일반 탑차와 저상 탑차에 비해 높은 근활성도(일반 탑차, Zone 1: 17.5%MVC; Zone 2: 15.1%MVC; 저상 탑차, Zone 1: 11.9.%MVC; Zone 2: 12.8%MVC)를 보인 반면, Zone 3의 경우 세 종류의 차량에서 유사한 근활성도를 나타냈다(일반 탑차: 15.9%MVC, 저상 탑차: 18.2%MVC, EV 저상형 탑차: 17.8%MVC) (Figure 8, left).

BF의 90%ile의 경우에는 일반 탑차와 저상 탑차의 Zone 1, 즉 탑차의 가장 안쪽 위치(일반 탑차: 32.6%MVC, 저상 탑차: 34.2%MVC)에서 EV 저상형 탑차(28.4%MVC)에 비해 높은 근활성도를 보였다. 반면 Zone 2, 3의 경우 세 종류의 탑차에서 유사한 근활성도를 보였

다(일반 탑차, Zone2: 27.4%MVC; Zone 3: 21.3%MVC; 저상 탑차, Zone 2: 26.6%MVC; Zone 3: 20.4%MVC; EV 저상형 탑차, Zone 2: 29.5%MVC; Zone 3: 23.0%MVC) (Figure 8, right).

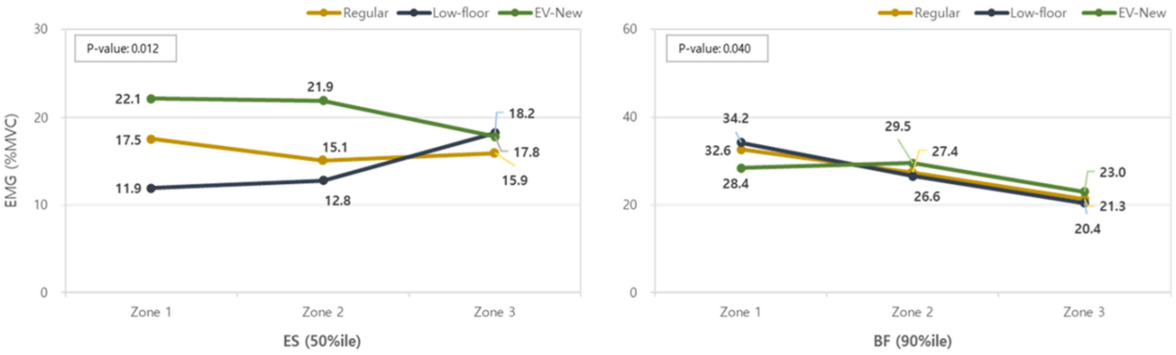


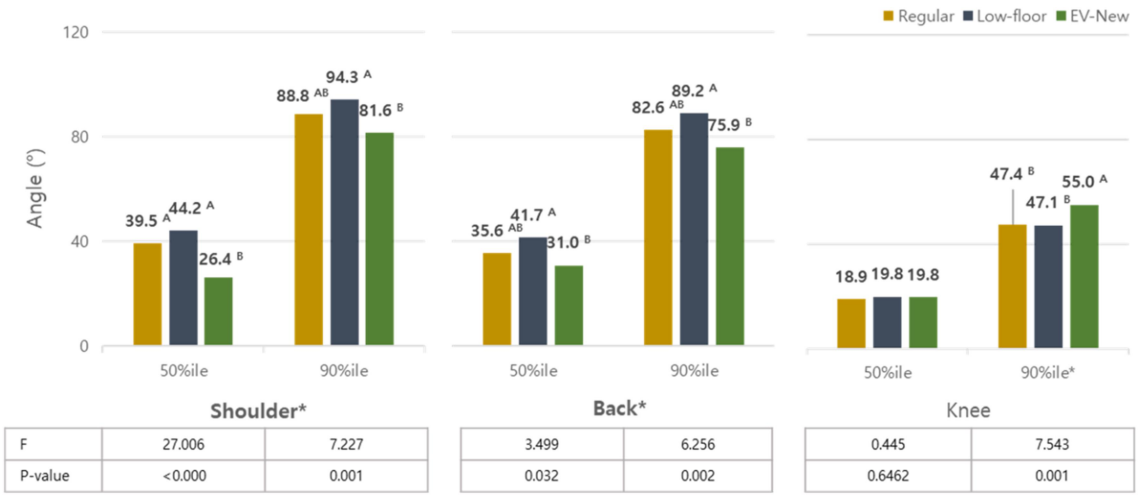
Figure 8. Interaction effects of car type and zone type for muscle activities of ES (left), and BF (right)

3.2 Body posture

작업 자세 분석 결과 Car Type에 따른 주효과가 허리, 어깨의 50, 90%ile, 무릎의 90%ile에서 통계적으로 유의하게 나타났다(Figure 9).

어깨와 허리의 50, 90%ile은 EV 저상형 탑차(50%ile, 어깨: 26.4°; 허리: 31.0°; 90%ile, 어깨: 81.6°; 허리: 75.9°)가 일반 탑차(50%ile, 어깨: 39.5°; 허리: 35.6°; 90%ile, 어깨: 88.8°; 허리: 82.6°)와 저상 탑차(50%ile, 어깨: 44.2°; 허리: 41.7°; 90%ile, 어깨: 94.3°; 허리: 89.2°)보다 통계적으로 유의하게 낮은 굴곡 자세를 보였다. 즉, EV 저상형 탑차는 다른 두 탑차에 비해 어깨는 8.1~40.3%, 허리는 8.1~25.7% 각각 감소 경향을 보였다.

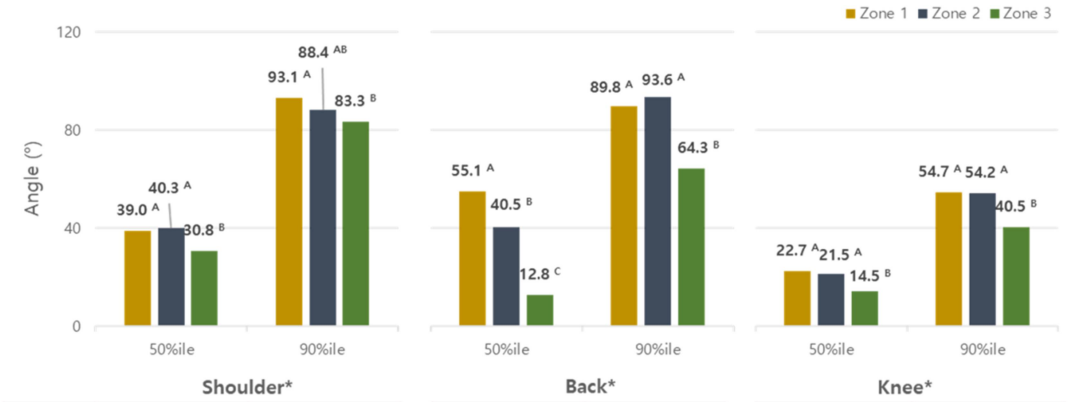
무릎의 90%ile은 일반 탑차(47.4°)와 저상 탑차(47.1°)가 EV 저상형 탑차(55.0°)보다 각각 약 13.8%, 14.4% 낮은 무릎 굴곡 자세를 보였다.



	Shoulder*		Back*		Knee	
F	27.006	7.227	3.499	6.256	0.445	7.543
P-value	<0.000	0.001	0.032	0.002	0.6462	0.001

Figure 9. Body posture angles associated with car types

또한, 택배 작업을 수행할 시 Zone Type에 대한 주효과는 모든 변수에 대하여 통계적으로 유의하게 나타났다(Figure 10). 전체적으로 Zone 3(어깨: 30.8°, 83.3°; 허리: 12.8°, 64.3°; 무릎: 14.5°, 40.5°)가 Zone 1(어깨: 39.0°, 93.1°; 허리: 55.1°, 89.8°; 무릎: 22.7°, 54.7°)과 Zone 2(어깨: 40.3°, 88.4°; 허리: 40.5°, 93.6°; 무릎: 21.5°, 54.2°)보다 낮은 굴곡 자세를 보였다. 즉, Zone 1 & 2 보다 Zone 3에서 어깨는 5.8~23.6%, 허리는 28.4~76.8%, 무릎은 25.3~36.1% 낮은 굴곡 각도 경향을 보였다.

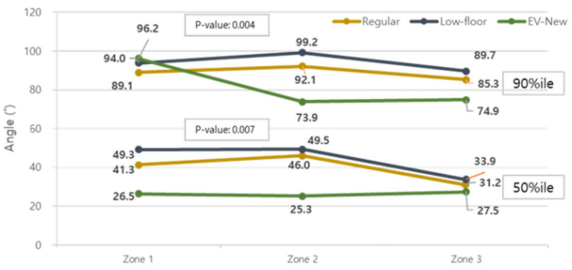


	Shoulder*		Back*		Knee*	
F	6.878	4.153	139.995	54.351	51.571	30.536
P-value	0.001	0.017	<0.000	<0.000	<0.000	<0.000

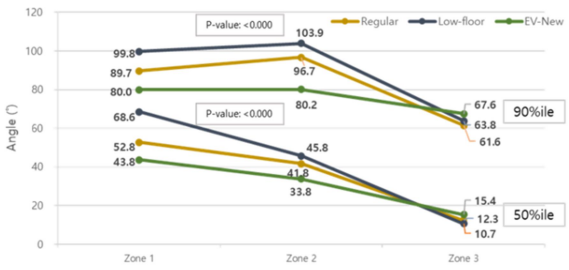
Figure 10. Body posture angles associated with three zones

Car Type과 Zone Type의 교호작용의 경우, 무릎의 50%ile, 어깨와 허리의 50, 90%ile에서의 작업 자세가 통계적으로 유의했다.

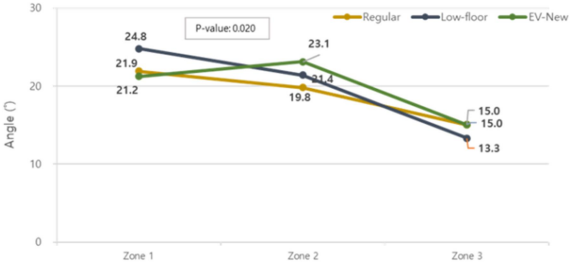
무릎의 50%ile의 경우, Zone 1에서 저상 탑차(24.8°)가 일반 탑차(21.9°)와 EV 저상형 탑차(21.2°)보다, Zone 2에서는 EV 저상형 탑차



(a) Shoulder



(b) Back



(c) Knee

Figure 11. Interaction effects of car and zone types for shoulder (a), back (b), and knee (c) angles

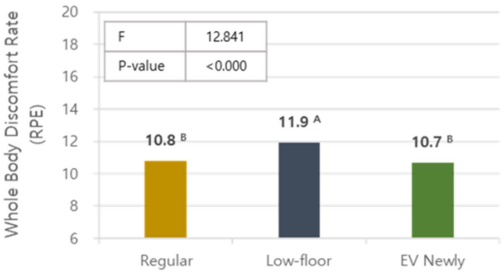
(23.1°)가 일반 탑차(19.8°)와 저상 탑차(21.4°)보다 높은 무릎 굴곡 각도를 보였다(Figure 11, a).

어깨의 50%ile의 경우, 전반적으로 일반 탑차와 저상 탑차의 어깨 굴곡 각도(일반 탑차: 31.2~46.0°; 저상 탑차: 33.9~49.5°)가 EV 저상형 탑차의 굴곡 각도(EV 저상형 탑차: 25.3~27.5°)에 비해 높은 어깨 굴곡 각도를 보였다(Figure 11, b). 어깨의 90%ile의 경우, Zone 1을 제외하고, 50%ile의 데이터와 유사하게, Zone 2와 3에서 일반 탑차와 저상 탑차의 어깨 굴곡 각도(일반 탑차: 85.3~92.1°; 저상 탑차: 89.7~99.2°)가 EV 저상형 탑차의 굴곡 각도(EV 저상형 탑차: 73.9~74.9°)에 비해 높은 어깨 굴곡 각도를 보였다(Figure 11, b).

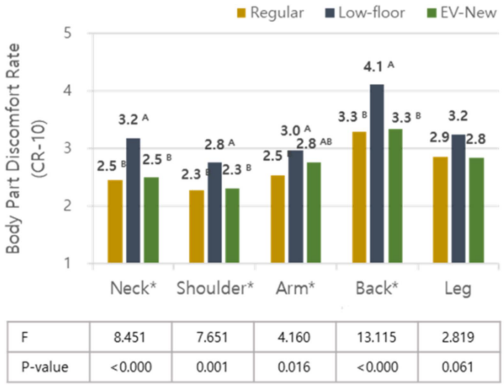
일반 탑차와 저상 탑차의 허리 굴곡의 50 & 90%ile 모두에서 Zone 1, 2(일반 탑차: 41.8~52.8° & 89.7~96.7°; 저상 탑차: 45.8~68.6° & 99.8~103.9°)에서 EV 저상형 탑차(33.8~43.8° & 80.0~80.2°)에 비해 높은 허리 굴곡 각도를 보였다. 반면 Zone 3의 경우 세 종류의 차량에서 유사한 허리 굴곡 각도를 나타냈다(Figure 11, c).

3.3 Subjective discomfort rating

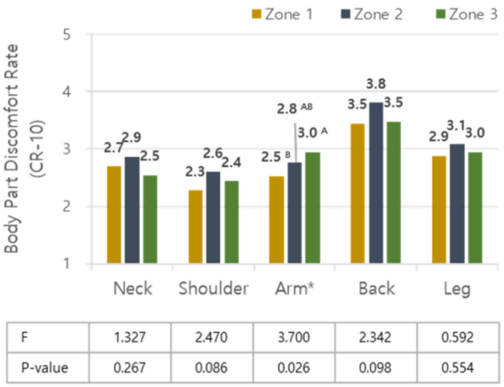
택배 작업을 수행할 때 전신 불편도에 대한 Car Type의 주효과는 유의한 결과를 보였다. 저상 탑차의 경우 11.9점으로 일반 탑차(10.8점)와 EV 저상형 탑차(10.7점)보다 높은 전신에 대한 주관적 불편도를 보였다(Figure 12, a). 택배 작업을 수행할 때 신체 부위별 불편도에 대한 Car Type의 주효과는 목, 어깨, 팔, 허리에서 통계적으로 유의한 결과를 나타냈다.



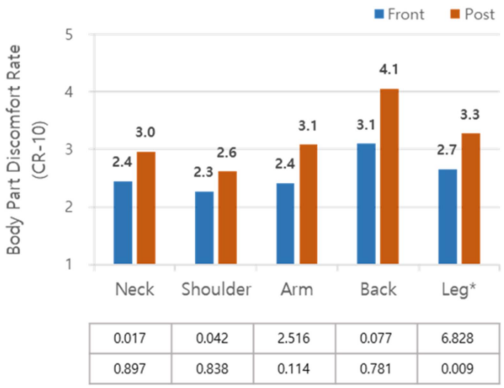
(a) Car type



(b) Car type



(c) Zone type



(d) Period

Figure 12. Subjective discomfort ratings of whole body associated with three-car types (a), and that of body parts for car types (b) zone types (c), and period (d)

목, 어깨, 팔, 허리의 신체 부위별 불편도 결과에서 저상 탑차가 일반 탑차와 EV 저상형 탑차(목: 2.5점, 어깨: 2.3점, 팔: 2.8점, 허리: 3.3점)보다 상대적으로 높은 불편도를 보였다(Figure 12, b).

택배 작업 수행 시 Zone Type에 대한 주효과는 팔에서 유의한 결과를 나타냈는데, Zone 3(3.0점)의 불편도가 Zone 1(2.5점), Zone 2(2.8점)보다 각각 약 20.0%, 7.1% 높은 불편도를 보였다(Figure 12, c).

신체 부위별 불편도에 대한 Period의 주효과는 다리에서 유의한 결과를 보였는데, 작업 수행 전(2.7점), 작업 수행 후(3.3점)보다 낮은 결과를 보여, 작업을 수행한 뒤 22.2% 증가하는 결과를 보였다(Figure 12, d).

택배 작업을 수행할 때 Zone Type과 Period의 교호작용에서는, 허리의 신체 불편도가 통계적으로 유의한 결과를 보였다(Figure 13). 허리 불편도는 작업 시작 전에 비하여 작업 수행 뒤 증가하는 경향을 보였다. 그 중 Zone 1과 2의 불편도는 크게 증가하는 경향을 보인 반면, Zone 3의 불편도에는 큰 변화가 없었다(Zone 1: 55.6%, Zone 2: 33.3%, and Zone 3: 9.1%).

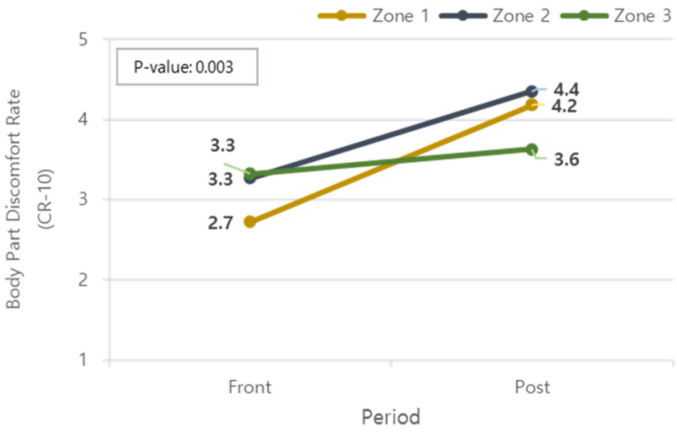


Figure 13. Interaction effects of Zone Type and Period (Subjective Discomfort Rate - Body Parts)

4. Discussion

본 연구에서는 일반 탑차, 저상 탑차, 그리고 새롭게 설계된 EV 저상형 탑차에 따른 작업자의 부담 정도를 분석하기 위해, 근전도, 작업 자세, 그리고 전신 및 신체 부위별 불편도의 데이터를 평가 수행하였다.

근전도 분석의 결과로는 EV 저상형 탑차에서 허리 근육(ES)을 제외한 대부분의 근육(UT, RF, BF, TA)이 약 3.2~27.4% 낮은 근활성도를 보였다. 따라서, 허리를 제외한 전반적인 근육 부하는 EV 저상형 탑차에서 가장 낮음을 확인할 수 있었다. 또한 Zone Type의 경우, Zone 3에서의 작업이 하체 근육(BF, RF, TA)의 활성도에서 22.2~31.9% 낮은 경향을 보였는데, 이는 작업을 위한 이동거리가 Zone 3에서 가장 짧기 때문인 것으로 보인다. 교호작용의 경우 허리 근육(ES)은 EV 저상형 탑차가 Zone 1, 2에서 일반 탑차와 저상 탑차에 비해 높은 결과를 보였다. 하체 근육(BF)은 일반 탑차와 저상 탑차가 Zone 1에서 높았으며 Zone 2, 3에서는 세 탑차가 모두 유사한 결과를 보였다. 전반적인 근전도 결과와 함께 하체 근육(BF)의 Zone 1에서의 근활성도 감소 결과로 보아 EV 저상형 탑차에서 작업을 수행할 시 작업자의 부담이 일반 탑차와 저상 탑차에 비해 경감되는 것을 확인할 수 있었다.

작업 자세 평가 결과는 EV 저상형 탑차에서 작업을 수행할 때 허리, 어깨는 낮은 굽힘 각도를 보인 반면, 무릎은 높은 굽힘 각도를 보였다. 또한 Zone 3에서도 작업을 수행할 때 허리, 어깨, 무릎의 굽힘 각도가 낮은 것을 확인할 수 있었다. Zone에 따른 무릎 굽힘에 대한 결과에서는, 무릎의 50%ile은 Zone 1에서는 저상 탑차가, Zone 2에서는 EV 저상형 탑차가 가장 높은 굽힘 각도를 보였으며

Zone 3에서는 저상 탑차가 가장 낮은 굽힘 각도를 보였다.

어깨의 경우 50%은 Zone 1, 2에서는 EV 저상형 탑차가 가장 낮은 어깨 들림을 보였으나, Zone 3에서는 세 종류의 탑차가 유사한 결과를 보였다. 반면, 어깨의 90%ile은 Zone 1에서 일반 탑차와 EV 저상형 탑차가 가장 큰 어깨 들림을 보였지만, Zone 2, 3에서는 EV 저상형 탑차가 가장 낮은 어깨 들림을 보였다. 이러한 결과는 EV 저상형 탑차의 Zone 1의 단차로 인해 상자를 적재할 시 어깨를 멀리 뻗는 동작이 발생하기 때문에 나타나는 것으로 보인다.

택배 작업 시 허리 굽힘 각도는 50%ile과 90%ile에서 각각 일반 탑차(55.1°와 89.8°), 저상 탑차(40.5°와 93.6°) 그리고 EV 저상형 탑차(12.8°와 64.3°)로 50%ile과 90%ile 모두 Zone1, 2에서 EV 저상형 탑차가 가장 낮은 허리 굽힘을 보였으며, Zone 3에서는 세 종류의 탑차가 모두 유사한 결과를 보였다.

허리의 경우 근활성도와 굽힘 각도를 비교해 보았을 때, EV 저상형 탑차에서 작업할 시 허리 굽힘 각도는 가장 낮은 반면에 근활성도는 높은 결과를 보여 두 결과가 상충되는 것을 보였다. 이는 FRP (Flexion-Relaxation Phenomenon) 현상으로 설명이 가능할 것으로 보인다. FRP 현상은 기립 자세에서 허리를 최대 굴곡하는 동안 허리 근육의 표면 근전도가 점차 증가하다가 허리의 굴곡 각도가 일정 각도 이후로 감소하거나 침묵하는 현상을 말하며 이 현상은 피험자의 허리 근육 상태에 따라 약 46°에서 75° 사이의 각도에서 발생하기 시작한다고 보고된다(Christopher et al., 2005; Descarreaux et al., 2008). 이러한 FRP는 신체 하중, 골반 자세, 동작의 속도 등 여러 요인의 영향을 받을 수 있다(Sarti et al., 2001). 일반 탑차와 저상 탑차의 경우 화물칸의 높이가 EV 저상형 탑차에 비해 낮기 때문에 피험자들이 작업 수행 시 허리 굽힘이 발생하는 등 낮은 작업 자세로 작업을 수행하게 된다. 본 실험연구에서, 택배 작업 시 허리 굴곡 각도는 50%ile과 90%ile에서 각각 일반 탑차(55.1°와 89.8°), 저상 탑차(40.5°와 93.6°) 그리고 EV 저상형 탑차(12.8°와 64.3°)로 나타나, 일반 탑차와 저상 탑차의 경우 46° 이상으로 허리를 굴곡하는 빈도가 높았을 것으로 사료된다. 따라서 FRP 현상으로 인한 허리 근활성도의 감소로 인해 EV 저상형 탑차의 근활성도가 일반 탑차와 저상 탑차보다 높게 나타난 것으로 보인다.

다만, FRP 현상으로 인한 저상 및 일반 탑차에서의 상·하차 작업 시 허리 근활성도의 감소는 단순히 허리 부담의 경감을 의미하는 대신, 속근의 부담이 가중되는 것을 의미하므로, 이는 일반 탑차와 저상 탑차에서의 작업이 EV 저상형 탑차에서의 작업보다 허리 부담이 더 크다고 할 수 있다.

무릎 각도의 경우 90%ile에서 EV 저상형 탑차 작업에서 더 큰 굽힘 각도를 보였는데, 이는 일반 탑차와 저상 탑차의 경우 화물 적재칸의 높이가 EV 저상형 탑차에 비해 낮아 보폭이 좁아지고 이에 따라 무릎 굽힘 각도가 감소한 것으로 사료된다. 또한 EV 저상형 탑차의 Zone 2에서의 무릎 굽힘 각도는 다른 차량에서의 작업보다 큰 결과를 보였다. 이러한 결과는 일반 및 저상 탑차에서 작업 수행 시 허리 굽힘 등 낮은 작업 자세로 작업을 수행하여 박스를 내려놓고 들어 올리는 작업을 수행하는 데 있어 무릎을 크게 굽힐 필요가 없으나, EV 저상형 탑차는 두 탑차에 비해 서 있는 자세로 작업을 수행하여 무릎 굽힘이 수반되는 것으로 보인다. 따라서 무릎 각도는 화물칸의 높이 및 작업 자세, 보폭 등에 영향을 받은 결과인 것으로 사료된다. 하지만 이러한 무릎 굽힘 각도는 약 3~4° 차이로 미미한 수준이기 때문에 차량에 따른 신체 부하의 차이가 크지 않을 것으로 보인다. 또한, 인간공학적 평가도구인 REBA에서도 무릎 굽힘 각도 30° 이하에서는 추가적인 점수를 부여하지 않는다. 본 연구 결과에서도 비록, EV 저상형 탑차가 다른 탑차에 비해 높은 굴곡 각도를 보였으나, 대부분 30° 내외였다.

근활성도와 작업 자세 평가 결과 어깨와 허리의 결과를 통해 EV 저상형 탑차의 신체 부담 경감 효과를 확인할 수 있었다. 어깨의 경우 EV 저상형 탑차의 특성으로 인해 EV 저상형 탑차의 가장 깊은 부분에서 작업을 수행할 시 어깨를 크게 올리는 경향을 보였지만, 이를 제외하고는 근활성도 및 어깨 들림이 낮은 경향을 보였다. 허리의 경우 역시, EV 저상형 탑차에서 근활성도는 높았지만, 굽힘 각도는 낮은 결과를 확인할 수 있었다. 이미 앞에서 설명한 바와 같이, 이는 일반 및 저상 탑차에서의 허리 굴곡이 크기 때문에 FRP 현상으로 인해 근활성도가 낮게 측정되었기 때문인 것으로, 일반 및 저상 탑차에서는 속근의 부담이 가중되는 자세가 발생하여, 택배 종사자들의 허리에 대한 작업부담이나 근골격계 위험 부담은 EV 저상형 탑차 보다 더 클 것으로 사료된다.

전신 불편도에 대한 주관적 평가의 경우, EV 저상형 탑차의 점수가 가장 낮은 결과를 보였다. 또한 각 신체별 불편도에 대한 주관적 평가 역시, 저상 탑차가 가장 높은 불편도를 보였으며, 일반 탑차와 EV 저상형 탑차의 불편도는 유사한 결과를 보였다. 특히, 저상 탑

차가 다른 두 탑차에 비해 목은 27.1~29.3%, 어깨는 20.0~21.6%, 팔은 8.0~17.4%, 허리는 23.4~24.9% 높은 신체 부위별 주관적인 불편도를 보였다. 따라서 작업을 수행하는 데 있어 주관적인 평가에서도 EV 저상형 탑차가 가장 긍정적인 결과를 보였다. 또한 허리의 신체 불편도는 Zone 1 & 2에서 크게 증가하는 반면 Zone 3에서는 큰 변화가 없었는데, 이것은 Zone 1과 Zone 2에서의 작업은 탑차 내부에서 작업을 하기 때문에 허리를 숙이는 자세가 많이 발생하는 반면, Zone 3는 탑차 외부에서 작업하여 허리를 상대적으로 적게 숙이기 때문에 이러한 결과가 도출된 것으로 보인다.

5. Conclusion

본 논문은 근전도, 작업 자세 분석, 주관적 불편도 평가를 통해 일반 탑차, 저상 탑차, EV 저상형 탑차에 대한 택배 작업자의 신체 부하를 정량적/정성적으로 평가하였다. 전반적인 정량적 지표들의 평가 결과 EV 저상형 탑차의 신체 부하가 가장 낮은 것을 확인할 수 있었다. 본 연구의 의의로는 EV 저상형 탑차의 신체 부담 경감 효과 및 편의성, 안전성 등에 대한 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구의 한계점으로는 10명의 남성을 대상으로만 수행했으며, 모두 학생으로 구성되어 추후 실제 작업자를 대상으로 추가적인 연구를 수행해야 할 필요성이 있다. 또한 작업물의 무게를 5kg으로 제한하였기 때문에 실제 택배 작업과 신체 부하의 차이가 발생했을 것으로 보인다. 따라서 추후 연구에서는 다양한 무게를 대상으로 실험을 수행해야 할 것으로 보인다.

Acknowledgement

This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant RS-2021-KA163201).

References

Borg, G.A., Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1982.

Borg, G.A., Borg's perceived exertion and pain scales. *Human kinetics*, United States, 1998.

Cho, S.J., Jung, G.W., Jang, Y.S. and Kwon, H.J., Survey on income levels for notification of remuneration premiums and average wages as the basis for estimation of workers compensation insurance premiums and benefits. *Seoul: Ministry of Employment and Labor*, 2015.

Choi, D.S., A Study on the Industrial Accidents of Care Workers – Focused on Care Work and subsequent Musculoskeletal Disorders. *Public Interest and Human Rights*, 19(0), 289-316, 2019.

Christopher, J.C. and Richard, N.H., The Biomechanical and clinical significance of the lumbar erector spinae Flexion-relaxation phenomenon: A Review of Literature. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 28(8), 623-631, 2005.

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, 1-9, 2008.

Garg, A. and Owen, B., Prevention of back injuries in healthcare workers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14(4), 315-331, 1994.

Harcombe, H., McBride, D., Derrett, S. and Gray, A., Prevalence and impact of musculoskeletal disorders in New Zealand nurses,

postal workers and office workers. *Australian and New Zealand journal of public health*, 33(5), 437-441, 2009.

Kim, I., Lee, K.S., Kim, K.R., Chae, H.S. and Kim, S., Ergonomic assessment for manual material handling of livestock feed by elderly farmers in Korea. *Journal of Ergonomics Society of Korea*, 35(3), 279-291, 2015.

Kim, M.J. and Choi, E.S., Occupational Accident Compensation Insurance Coverage and Occupational Accidents for Special-type Delivery Workers. *Journal of Korean Academy of Community Health Nursing/Jiyeog Sahoe Ganho Hakoeji*, 32(1), 64-72, 2021.

Lee, B.I., Working conditions and health status of delivery workers. *Korean Journal of Occupational Health Nursing*, 156-165, 2019.

Mbang Bian, W., Mekoulou Ndongo, J., Richard Guessogo, W., Ebal Minye, E., Ndemba, P.B.A., Gassina, G., Mandengue, S.H. and Temfemo, A., Musculoskeletal disorders and risk factors among heavy load carriers in Yaounde city, Cameroon. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 28(2), 1244-1250, 2022.

Mirka, G.A., The quantification of EMG normalization error. *Ergonomics*, 34(3), 343-352, 1991.

Retsas, A. and Pinikahana, J., Manual handling activities and injuries among nurses: an Australian hospital study. *Journal of Advanced Nursing*, 31(4), 875-883, 2000.

Sarti, M.A., Lison, J.F., Monfort, M. and Fuster, M.A., Response of the flexion-relaxation phenomenon relative to the lumbar motion to load and speed. *Spine*, 26(18), 421-426, 2001.

Silva, L., Rosa, C.S., Paulo, I.I., Mattos, N., Giracca, C., Merino, G.S.A.D. and Merino, E., Ergonomic Assessment of Musculoskeletal Risks in Postal Workers Through Motion Capture, a Case Study. SHO2020; Portuguese Society of Occupational Safety and Hygiene: Guimarães, Portugal, 85-88, 2020.

Silva, L., Costa, N., Rosa, C.S., Paulo, I.I., da Silva, N.M., Giracca, C., da Silveira Simoes, S., do Nascimento Aquini, A., Merino, G. and Merino, E.A.D., Ergonomic assessment of postal workers' pain symptoms and musculoskeletal risks related to parcel processing activity for delivery. *EXCLI Journal*, 21, 744, 2022.

Smith, D.R., Mihashi, M., Adachi, Y., Koga, H. and Ishitake, T., A detailed analysis of musculoskeletal disorder risk factors among Japanese nurses. *Journal of Safety Research*, 37(2), 195-200, 2006.

Theurel, J., Desbrosses, K., Roux, T. and Savescu, A., Physiological consequences of using an upper limb exoskeleton during manual handling tasks. *Applied Ergonomics*, 67, 211-217, 2018.

Trinkoff, A.M., Lipscomb, J.A., Geiger-Brown, J. and Brady, B., Musculoskeletal problems of the neck, shoulder, and back and functional consequences in nurses. *American Journal of Industrial Medicine*, 41(3), 170-178, 2002.

Zipp, P., Recommendations for the standardization of lead positions in surface electromyography. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(1), 41-54, 1982.

Author listings

Yong-Ku Kong: ykong@skku.edu
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, The Pennsylvania State University
Position title: Professor, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Exoskeleton, Physical ergonomics, WMSDs, Occupational safety and health, Ergonomics design

Heung-Youl Kim: kimhy@nanzan-u.ac.jp
Highest degree: Ph.D., Department of Health and Sport Sciences, Chukyo University, Japan
Position title: Professor, Physical Education Center, Nanzan University
Areas of interest: Work-Related Musculoskeletal Disorders, Development and Degeneration of Human Gait (Fall-related factors)

Sang-Soo Park: qkrtkdtn34@naver.com
Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design

Jin-Woo Shim: sorksnrn33@naver.com
Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design

Hyunji Keum: khz1996@naver.com
Highest degree: M.S., Industrial Design engineering, Korea University of Technology and Education
Position title: M.S., Industrial Design engineering, Korea University of Technology and Education
Areas of interest: physical ergonomics, User centered design, UI/UX

Seungjae Son: jamesdrummer@naver.com
Highest degree: B.S., Department of Industrial and Management Engineering, Kyungsung University
Position title: Undergrad. Student, Department of Industrial and Management Engineering, Kyungsung University
Areas of interest: Physical ergonomics, Ergonomics design, Workplace ergonomics

Suk Lee: slee@krri.re.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, KAIST
Position title: Principal Researcher, Korea Railroad Research Institute
Areas of interest: Supply Chain Management, Cold Chain, Logistics standardization

Soon-Kyo Lee: sklee@krri.re.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, Korea University
Position title: Senior Researcher, Korea Railroad Research Institute
Areas of interest: Supply Chain Finance, Artificial Intelligence in logistics

U-Ri Chae: chaeuri@krri.re.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, Ajou University
Position title: Senior Researcher, Korea Railroad Research Institute

Areas of interest: Work-Related Musculoskeletal Disorders, Usability, Wearable Robots, Logistics Operation Scenario

Hyun-Ho Shim: shim2906@naver.com
Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: PhD Student, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: WMSDs, Analysis of Work Loads, EMG, Motion Capture