JESK J Ergon Soc Korea 2024; 43(3): 231-243
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2024.43.3.231
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Physical Burden of Farmers by Loading Height in Apple Sorting Task

Seoung-Yeon Kim, Insoo Kim, Wongeon Jung, Choung Keun Lee, Mintae Seo

National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Jeonju, 54875

사과 선별 작업 시 적재 높이에 따른 작업자 인체 부담

김승연, 김인수, 정원건, 이충근, 서민태

농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부

Corresponding Author
Mintae Seo
National Institute of Agricultural Sciences,
Rural Development Administration,
Jeonju, 54875
Email : mtseo85@korea.kr

Received : May 22, 2024
Accepted : June 28, 2024

Copyright@2024 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: This study aimed to quantitatively evaluate the physical burden of workers during apple sorting tasks according to loading height. This evaluation utilized electromyography to measure muscle load, motion data from IMU sensors to assess worker posture, and subjective discomfort assessments.

Background: Physical burdens in field cultivation arise from peak periods of crop operations and various musculoskeletal strain factors. Apple sorting and harvesting tasks are particularly demanding for farmers due to handling approximately 20kg loads, leading to significant physical strain.

Method: To assess the physical burden associated with the transportation and loading of harvest boxes during sorting tasks, experiments were conducted in a laboratory setting that simulated actual working conditions in sorting facilities. The evaluation included electromyography to measure muscle activity, ergonomic assessments of worker posture, and the Borg RPE scale to gauge perceived exertion.

Results: The findings indicated that the average muscle activity for transport tasks was 17.2%MVC, while 16.2%MVC for loading tasks, showing relatively higher muscle activity during transport tasks. The upper trapezius (UT) muscle activity increased with workload for both tasks. Posture assessments rated transport tasks at RULA 3.95, REBA 3.10, and AWBA 2.64, whereas loading tasks were rated at RULA 3.97, REBA 2.98, and AWBA 2.40. These ratings suggest a "Necessary soon (High)" intervention level at Level 3 or higher for RULA and REBA assessments. Subjective discomfort scores averaged 12.9 for transport tasks and 13.2 for loading tasks, indicating a "Somewhat hard" level of discomfort. Discomfort increased from 3 tiers or more, reaching a "Hard" level at 6 tiers.

Conclusion: Both transport and loading tasks showed high muscle activity and posture risk at 6 tiers, with subjective discomfort scores exceeding 15 points ("Hard"). The upper body experienced a higher burden than the lower body, with ergonomic assessment tools such as RULA and REBA reflecting higher risks than AWBA. To mitigate the burden of apple sorting tasks, it is crucial to develop ergonomic equipment that minimizes upper-body and waist strain, along with improvements in the working environment and handling heavy loads.

Application: The results of this study provide foundational data for reducing the physical burden on apple orchard workers and for developing ergonomic equipment tailored to their needs.

Keywords: Agricultural workload, Sorting work, WMSDs, Apple, Farmer

1. Introduction

2023년 기준 작물 재배 면적 중 노지 재배 면적은 전체의 94.8%로 국내 농업분야에서 중요한 비중을 차지하고 있다(KOSIS, 2023). 최근 이미지 센싱을 기반으로 한 모니터링 시스템을 활용하는 등의 첨단 기술 도입은 노지 재배 시의 생산성 향상과 수확 작업 시의 노동력 절감에 기여하고 있다(Omia et al., 2023). 그러나 노지 재배는 기후에 영향을 받을 수 있기에 특정 작업 시기별로 노동력이 집중되는 경향을 보인다. 또한, 작업 공간에 따른 불편한 작업자세, 중량물 취급, 반복작업 등의 열악한 작업 조건으로 인하여 농업인은 근골격계질환 위험에 노출되어 있는 것으로 보고되고 있다(Lee and Kim, 2012).

국내 농업인의 업무상 질병 조사에 따르면 근골격계질환이 96.5%이며, 발생 부위 중 허리가 52.2%로 가장 높게 나타났다(RDA, 2023). 전국적으로 사과를 재배하는 농가 수는 38,608 가구이고, 재배 면적은 전체 노지 과수 경지 면적의 약 23.4%인 33,789ha이다(KOSIS, 2020; KOSIS, 2023). 사과 재배지는 대부분 산악지형에서 이루어지고 있어 지형특성상 경사지와 불규칙한 지형이 많아 농기계의 사용이 어렵고, 20kg 이상의 중량물 취급 작업인 선별 작업이 필수적이라 농업인의 인체 부담이 높은 실정이다(Lee et al., 2010).

노지 사과 농작업 인체부담 평가와 관련된 선행연구와 사례를 살펴보면, 사과 수확상자 운반 시 근전도 평가 결과, 상부 승모근의 %MVC는 27.2%로 나타나 부상 위험이 있었다(Earle-Richardson et al., 2008). Earle-Richardson et al. (2004)에서는 사과 수확 작업 시 10파운드 이상의 무게를 지탱하는 시간이 전체 작업 시간의 78.5%에 달하는 등, 작업 중 무게 지탱과 부적절한 자세로 인해 다른 고위험 직업들과 비교해도 높은 위험을 보였다. 사과 수확 작업 시 REBA와 Nordic Standard Questionnaire surveys를 활용하여 평가한 결과 허리, 무릎, 목, 어깨 등 신체 부위의 근골격계질환과 높은 연관성이 나타났다(Houshyar and Kim, 2018).

노지 사과와 관련한 작업을 수행하는 농업인의 근골격계질환 예방을 위하여 다양한 연구와 안전관리 프로그램, 교육, 편이장비 개발 등이 이루어져 왔으나, 구체적인 작업에 따른 연구가 추가로 필요한 실정이다. 특히, 주로 이루어져 온 농작업 방식의 인간공학적 개선을 위해 수확상자 손잡이(Seo et al., 2022), 사과 선별기(Lu et al., 2022), 작업용 테이블(Studman, 1998) 등이 있었으며, 그 밖에 수확용 레일 운반 도구, 경량수레, 전동운반차가 연구되었다(RDA, 2020). 기존 연구 결과에 따라 노지 사과 작목의 수확 작업에 대한 인체부담 평가 및 인간공학적 개선연구는 수행되었으나, 사과 농가에서 필수적으로 이뤄지는 선별 작업의 운반 및 적재에 대한 인체부담 평가 및 편이장비 개발에 대한 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 사과 선별 작업에서의 적재 높이에 따른 작업자의 인체 부담을 정량적으로 평가하고자 근전도를 이용한 근육부하, IMU 센서의 모션데이터 기반 작업자세, 그리고 주관적 불편도 평가를 수행하였다. 이는 사과 과수 농업인의 인체부담 경감 및 편이장비 개발을 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

2. Methodology

2.1 Subject

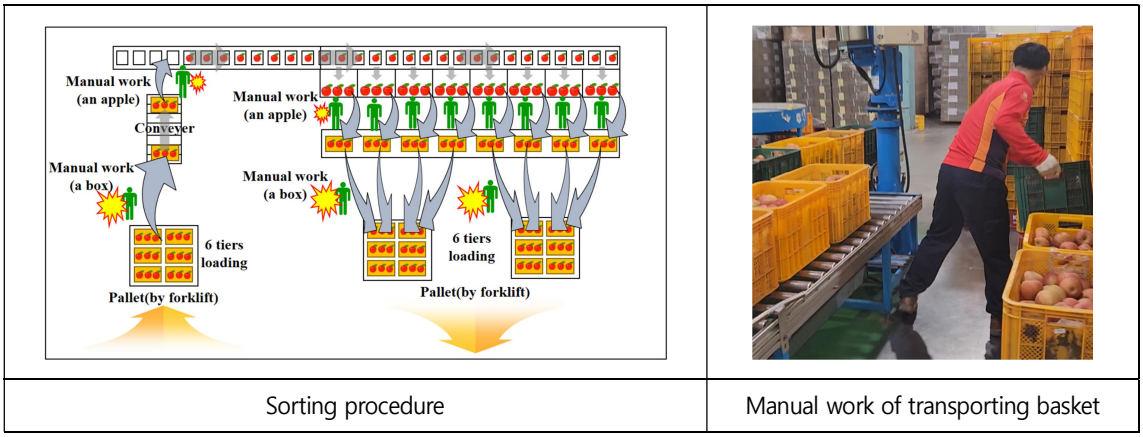
본 연구에서는 사과 선별을 위한 수확상자 운반 및 적재에 따른 인체부담 평가를 위해 5명의 피험자를 대상으로 평가를 수행하였다. 선별 작업 시 중량물 운반 및 적재와 같은 작업은 주로 남성들이 수행함을 고려하여 피험자는 모두 남성으로 선정하였으며, 참여한 피험자의 인체 정보는 아래의 표와 같다(Table 1).

Table 1. Characteristics of the subject's physical information

Gender	N	Age (Year)	Height (cm)	Weight (kg)
Male	5	33.2±3.5	176.4±4.6	74.4±6.9

2.2 Experimental environment design

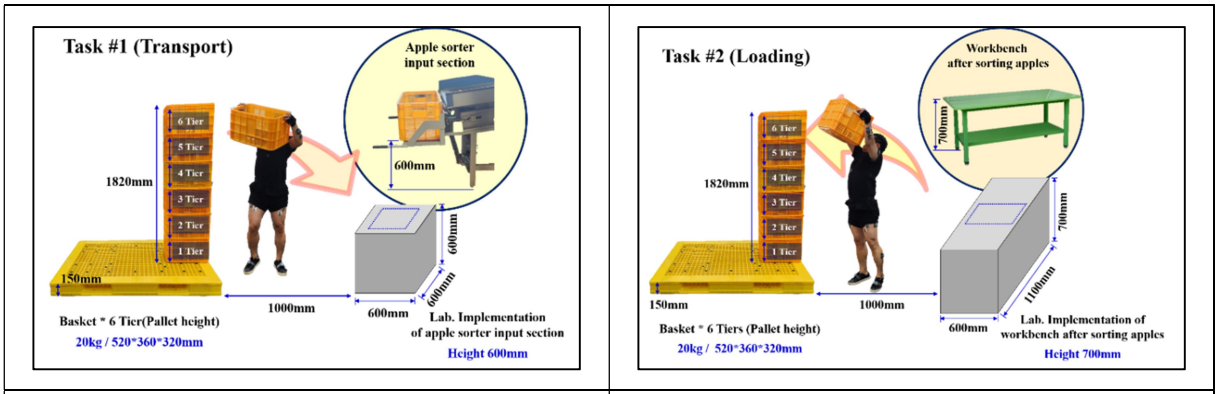
선별 작업장에서 이루어지는 수확상자 운반 및 적재에 대한 인체부담 평가를 위해 실험실 내에 실제 작업 현장과 유사한 환경을 구현하여 평가를 수행하였다. 실험실 환경 구현을 위해 사과 주산지의 선별 작업장 9개소를 대상으로 작업환경 조사를 실시하였으며, 조사대상 작업장은 농촌지도사 2인, 농업연구사 3인, 사과 농사 경험 10년 이상의 농업인 5인 등 10명의 농업전문가 의견을 반영하여 사과 선별 작업 시의 대표적인 작업 방식을 수행하는 농가를 대상으로 선정하였다. 대표적인 작업 순서는 지게차를 이용하여 팰릿(6단으로 적재)을 선별 투입부에서 1~2m 떨어진 지점으로 운반 후 농업인이 수작업으로 약 20kg의 수확물 박스를 선별 투입부에 운반하여 사과 선별 작업을 수행하는 작업이고, 선별되어 나온 수확 박스를 다시 팰릿 상으로 적재한 후 지게차를 이용하여 팰릿을 출하하는 순서이다(Figure 1).



Sorting procedure | Manual work of transporting basket

Figure 1. Apple sorting workplace investigation environment

작업환경 조사 결과를 기반으로 하여 두 가지 작업을 대상으로 실험 환경을 구성하였다. 두 가지 작업 중 첫 번째는 팰릿(지면에서 150mm 높이) 상에 6단으로 적재되어 있는 운반상자를 1,000mm 거리의 선별기 투입부(지면에서 600mm 높이)로 운반하는 작업이며, 두 번째 작업은 선별 후 운반상자를 작업대(지면에서 700mm 높이)에서 1,000mm 거리의 팰릿(지면에서 150mm 높이) 상에 6단으로



Task 1 (Transport) | Task 2 (Loading)

Figure 2. Implementing a laboratory environment for tasks (transport, loading)

적재하는 작업으로 평가를 수행하였다(Figure 2). 운반상자의 무게는 사과 재배 농업인의 수확상자 취급 무게에 대한 선행연구를 참고하여 20kg(상자 무게 2kg; 무게추 18kg)로 설정한 뒤 평가를 수행하였다(Seo et al., 2023).

5명의 피험자들은 1~6단의 상자를 무작위 순서로 하여 모든 단수에 대해 운반 및 적재 작업을 수행하였으며, 두 가지 작업에 대해 각각 3회씩 반복하였다. 단수별 작업 완료 후 즉시 RPE scale 평가지를 이용하여 주관적 불편도에 대해 응답하였으며, 피험자 당 총 18회 조사를 실시하였다. 휴식시간은 실험 반복 간 5분 이상으로 충분하게 제공하였다.

2.3 Experimental design

사과 선별 작업장에서 주로 수행되는 작업인 운반 및 적재 작업에 대한 인체부담 평가는 크게 세 가지로 근전도, 인간공학적 작업자세, Borgs' RPE scale을 활용하여 평가하였다.

근활성도 측정을 위하여 근전도 시스템인 Desktop DTS (Noraxon inc., AZ, U.S.A.)를 이용해 EMG 신호를 수집(Sampling rate = 1,500Hz)하였고 20~400Hz 대역으로 필터링 하였다. 평가 시 단위작업 별로 데이터 파일을 개별적으로 수집하였으며, 시점은 동작 전 1초, 종점은 동작 완료 후 1초로 지정하여 실험을 진행하였다. 근전도 신호 처리를 위해 MR.3.12 (Noraxon, Arizona, U.S.A.) 프로그램을 이용하였으며 수집된 RMS 데이터는 Filtering, Rectification, Smoothing, Amplitude Normalization 순으로 신호 처리 하였다. 해당 데이터의 정규화 방식은 %MVC를 채택하였으며 [Equation 1] 같이 도출하였다. RMS_{MVC}(최대 근활성도)은 Figure 4와 같이 각 근육에 대하여 2회 반복 측정하여 더 큰 값을 이용하였다(Konrad, 2005). RMS_{rest}(휴식 시 근활성도)는 RMS_{MVC} 측정 전 동일하게 2회 반복 측정하여 더 낮은 값을 이용하였다.

$$\%MVC = \frac{RMS_{task} - RMS_{rest}}{RMS_{MVC} - RM\ _{rest}} \quad \cdots\cdots \text{[Equation 1]}$$

(where, RMS_{task}= muscle activity during unit work, RMS_{MVC}= maximum muscle activity , EMG_{rest}= muscle activity at rest)

측정을 위한 근육 부위 선정은 운반 및 적재에 관련된 선행연구 및 사전 현장 방문을 통해 조사된 결과를 바탕으로 선정하였다. 선정한 근육은 허리 부위의 척추기립근(erector spinae, ES), 어깨 부위의 상부승모근(upper trapezius, UT), 전완 부위의 척측수근굴근(flexor carpi radialis, FCR), 소지신근(extensor digitiminimiproprius, ED), 하지 부위의 대퇴직근(rectus femoris, RF), 대퇴이두근(biceps femoris, BF)으로 총 6개이며, 부착 위치는 SENIAM을 참고하였다(Figure 3).

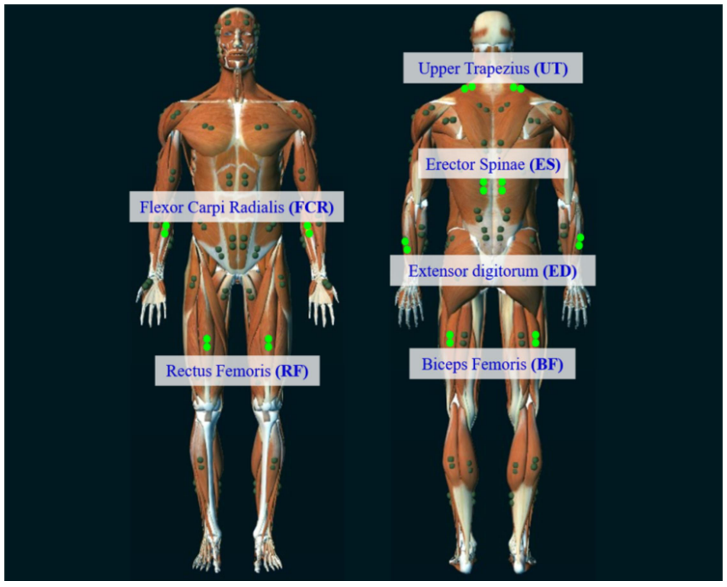


Figure 3. Positions of muscle measurements

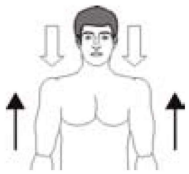
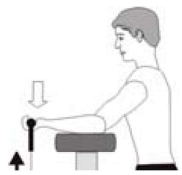
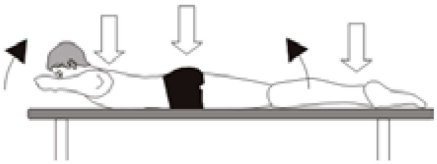
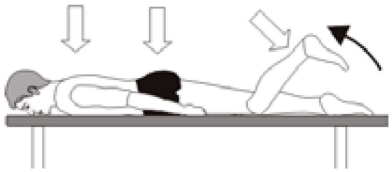
<table>
<tr><td rowspan="2">Upper-limb</td><td>  </td><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>UT</td><td>FCR</td><td>ED</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Back</td><td colspan="2">  </td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">ES</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Lower-limb</td><td colspan="2">  </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">BF</td><td>RF</td></tr>
</table>

Figure 4. Methods of measuring MVC for 6 different muscles

작업자세 부담 평가를 위해 동작분석 IMU 센서인 MyoMotion (Noraxon inc., AZ, U.S.A.)을 전신 16개 부위에 부착 후 근전도 센서와 동기화(Sync)하여 동시에 측정(sampling rate = 200Hz)하였다. 측정된 데이터를 Kim et al. (2022)에서 개발한 IMU 센서의 모션데이터

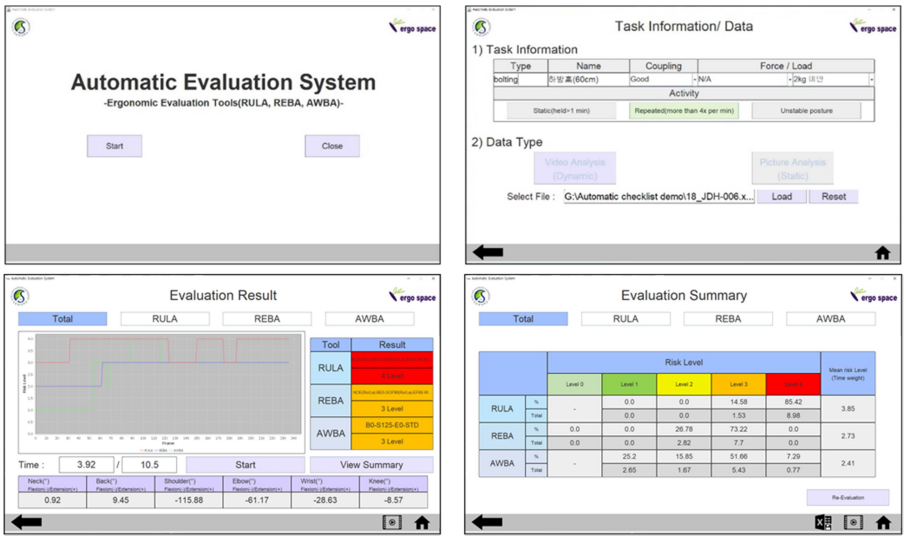


Figure 5. Program execution (Automatic Evaluation System – RULA, REBA, AWBA)

기반 작업자세 자동 평가프로그램을 이용하여 인간공학적 평가도구별(RULA, REBA and AWBA) 위험도 단계에 대한 최빈값을 분석하였다. 해당 프로그램은 모션데이터의 각 Frame 별 신체각도를 기반으로 RULA, REBA, AWBA를 자동으로 평가할 수 있으며, 위험도 단계 및 전 작업에 대해 평가도구별 위험도 단계의 최댓값, 최솟값, 최빈값을 도출할 수 있다. 이 프로그램은 평가자에 따라 상이한 인간공학적 작업자세 평가 결과의 오류를 최소화하여 정확한 평가 결과 도출이 가능하다(Figure 5).

전신의 주관적 불편도 평가를 위해 Borgs' RPE scale의 6~20점 척도를 이용하여 분석하였다(Table 2). 척도의 점수는 6점에 가까울수록 주관적으로 느껴지는 전신의 부하가 적고, 20점에 가까울수록 전신의 부하가 크다는 것을 의미한다(McCormick and Sanders, 1982; Kroemer et al., 1990).

Table 2. Borgs' RPE scale

Score	Rating of perceived exertion
6	No exertion at all
7	Extremely light
8	
9	Very light
10	
11	Light
12	
13	Somewhat hard
14	
15	Hard (heavy)
16	
17	Very Hard
18	
19	Extremely hard
20	Maximal exertion

2.4 Statistical analysis

수집된 자료는 SPSS package (version 27.0, IBM SPSS Corp., NY, USA)를 이용하여 분석하였다. 근전도, 인간공학적 작업자세 및 주관적 불편도에 대하여 평균과 표준편차 등 기술 통계를 이용하였다. 독립변수는 두 가지 작업 별 6개 적재 단수이며, 종속변수는 근활성도, 인간공학적 작업자세 위험도 단계, 주관적 불편도 점수로 설정하였다. 측정 횟수는 6개 단수에 따라 각 3회씩 측정하여 피험자 당 각 작업 별 총 18회 실시하였다. 통계적 분석은 정규성 검정(Kolmogorov-Smirnov test) 결과(p<0.05)를 바탕으로 비모수 검정(Kruskal-wallis)을 수행하였으며, 사후분석은 Mann-Whitney을 활용하였다. 유의수준(α)은 0.05로 설정하였다.

3. Results

3.1 Analysis of muscle activity results

두 가지 작업에서 각각 6개 단수에 대하여 근전도를 이용한 근활성도 분석 결과, 전체 단수에 대한 평균 근활성도는 운반 작업

17.2%MVC, 적재 작업 16.2%MVC로 운반 작업이 적재 작업에 비교적 높은 근활성도가 나타났다. 운반, 적재 두 가지 작업 모두 적재 단수에 따라 평균 근활성도는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<.001). 운반, 적재 작업 모두 6단에서 순서대로 20.4%MVC, 19.9%MVC로 가장 높은 평균 근활성도를 보였으며, 운반 작업의 경우 2단에서 14.8%MVC, 적재 작업의 경우 1단에서 13.5%로 가장 낮은 평균 근활성도를 보였다(Figure 6). 단수에 따른 사후분석 결과, 운반 작업의 경우 1, 3, 4, 5단 사이에 유의한 차이가 없었으나(p>.05), 2단과 6단과는 유의한 차이를 보였다(p<.001). 적재 작업의 경우 2,3,4,5단 사이에 유의한 차이가 없었으나(p>.05), 1단과 6단과는 유의한 차이를 보였다(p<.001).

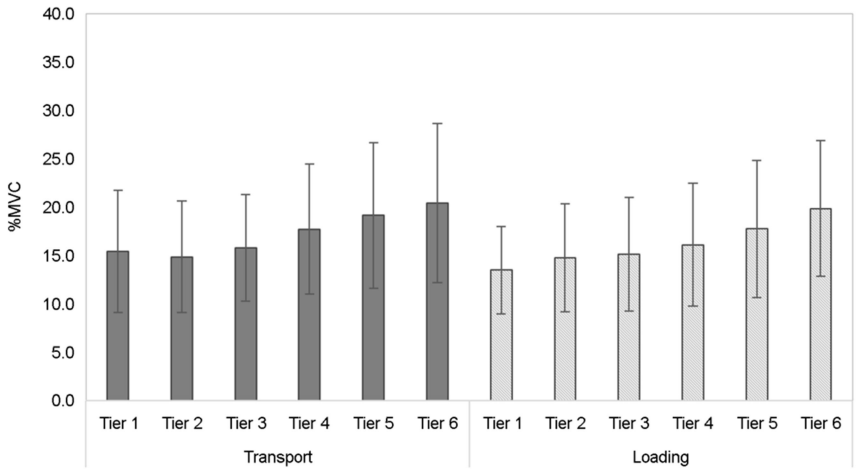


Figure 6. Muscle activity by tier height (transport, loading)

근육별 근활성도 분석 결과, 운반, 적재 두 가지 작업 모두 적재 단수에 따라 상부승모근(UT), 척추수근굴근(FCR), 소지신근(ED), 대퇴직근(RF)의 근활성도는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<.001). 상부승모근(UT)는 운반, 적재 작업 모두 단수가 높아질수록 근활성도가 증가하는 경향을 보였으며, 척추수근굴근(FCR)의 경우 운반 작업에서는 4단, 적재 작업에서는 6단에서 가장 큰 근활성도를 보였다. 소지신근(ED)는 운반, 적재 작업 모두 6단에서 가장 높은 근활성도를 보였으며, 운반 작업은 2단, 적재 작업은 1단에서 가장 낮은 근활성도를 보였다. 대퇴직근(RF)의 경우 운반, 적재 작업 모두 6단에서 가장 높은 근활성도를 보였으며, 그 외 단수에서 사이에서는 유의한 차이를 보이지 않았다(Figure 7, 8).

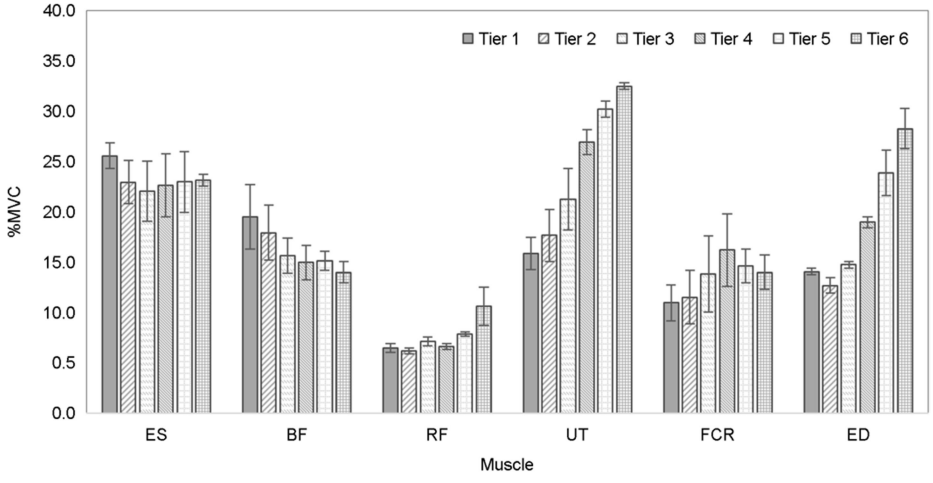


Figure 7. Muscle activity for each muscle by tier height during transport task

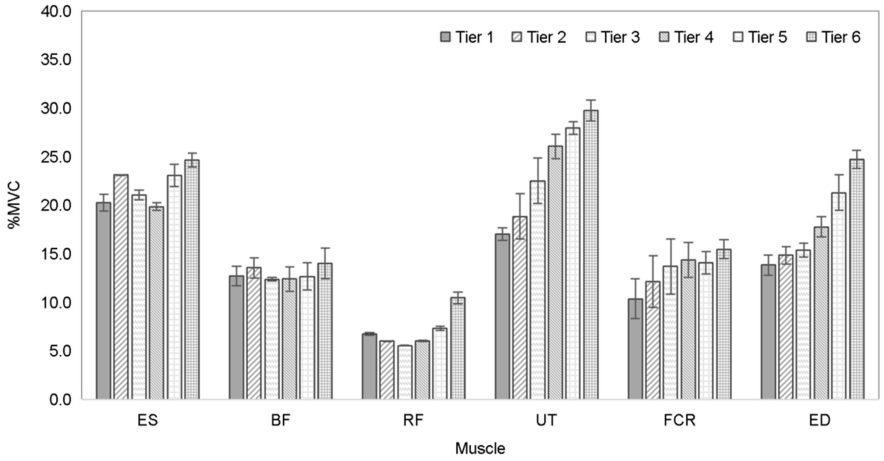


Figure 8. Muscle activity for each muscle by tier height during loading task

3.2 Analysis of ergonomic posture risk assessment results

두 가지 작업에서 각각 6개 단수에 대하여 IMU 센서의 모션데이터 기반 작업자세 자동 평가프로그램을 이용해 자세 위험도 평가를 수행한 결과, 운반 작업 시 전체 단수에 대한 최빈(Mode) 위험도는 RULA 3.95단계, REBA 3.10단계, AWBA 2.64단계로 순으로 평가되었고, 적재 작업의 경우 RULA 3.97단계, REBA 2.98단계, AWBA 2.40단계 순으로 평가되어 두 가지 작업 모두 RULA, REBA의 경우 3단계 이상으로 '빠른 시일 내 변경'이 필요한 수준을 보였다.

운반, 적재 작업 시 모든 평가도구에서 적재 단수에 따라 최빈 위험도 단계는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(p>.05). RULA의 경우 운반, 적재 작업 모두 모든 단수에서 3.9단계 이상으로 '빠른 시일 내 변경'이 필요한 수준을 보였으며, AWBA의 경우 운반, 적재 작업 모두 모든 단수에서 3단계 미만으로 적정(Moderate) 수준을 보였다. REBA의 경우 운반 작업 시 6단(3.33단계), 1단(3.17단계), 2단(3.11단계), 4단(3.10단계), 5단(3.00단계), 3단(2.90단계) 순으로 3단을 제외한 모든 단수에서 3단계 이상으로 '빠른 시일 내 변경'이 필요한 수준을 보였으며, 적재 작업 시는 5단(3.1단계), 1, 2, 3단(3.0단계), 4, 6단(2.90단계) 순으로 4, 6단을 제외하고 모든 단수에서 3단계 이상으로 '빠른 시일 내 변경'이 필요한 수준을 보였다(Figure 9).

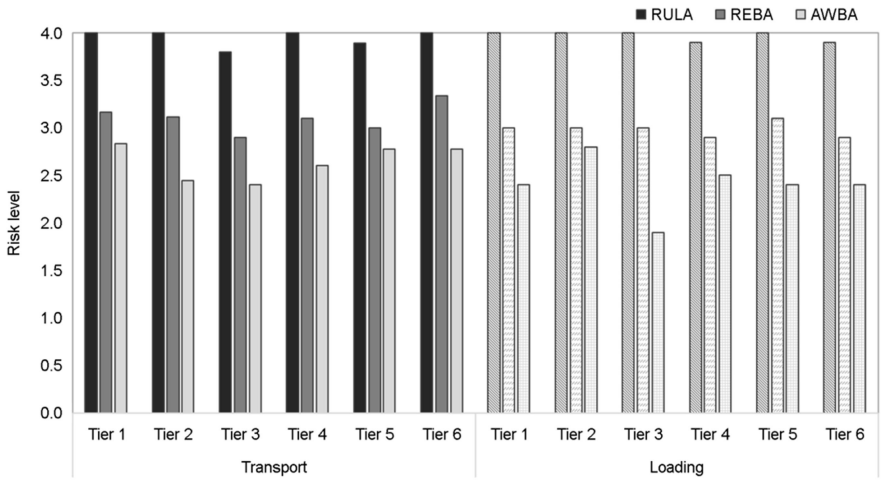


Figure 9. Risk of ergonomic evaluation tools by tiers (RULA, REBA and AWBA)

3.3 Analysis of subjective discomfort rating results

두 가지 작업에서 각각 6개 단수에 대하여 주관적 불편도 분석 결과, 전체 단수에 대한 평균 불편도는 운반 작업 12.9점, 적재 작업 13.2점으로 다소 힘듦 이상 수준을 보였으며, 운반 및 적재 작업 모두 적재 단수에 따라 평균 불편도는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<.001). 적재 단수별 불편도 점수는 운반 작업의 경우 6단(15.0점), 5단(13.7점), 4단(12.7점), 3단(12.2점), 1단(12.2점), 2단(11.6점) 순으로 6단에서 가장 높은 불편도를 호소하였으며, 2단에서 가장 낮은 불편도를 호소하였다. 적재 작업의 경우 6단(15.5점), 5단(14.3점), 4단(12.7점), 1단(12.6점), 3단(12.0점), 2단(12.0점) 순으로 운반 작업과 동일하게 6단에서 가장 높은 불편도를 호소하였으며, 1단과 2단에서 가장 낮은 불편도를 호소하였다. 두 가지 작업 모두 적재 높이가 3단 이상부터 불편도 점수가 증가하는 경향을 보였으며, 6단의 경우 힘듦 수준의 불편도가 나타났다(Figure 10).

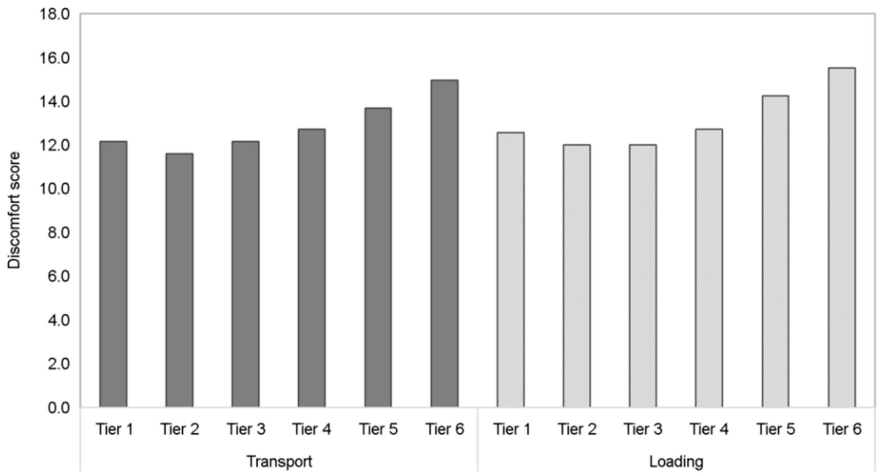


Figure 10. Whole-body discomfort score by tiers

4. Discussion

본 연구는 사과 선별 작업에서의 적재 높이에 따른 작업자의 인체 부담을 정량적으로 평가하고자 신체 근육 부위별로 근활성도를 측정하였으며, 인간공학적 평가도구(RULA, REBA and AWBA), 주관적 불편도(Borgs' RPE scale)를 이용해 작업부담 평가 결과를 도출하였다.

근활성도 평가 결과 두 가지 작업 모두 6단에서 가장 높은 근활성도를 보였으며, 운반 작업의 경우 2단에서 14.8%MVC, 적재 작업의 경우 1단에서 13.5%MVC로 가장 낮은 평균 근활성도가 나타났다. 상지 부위 근육(UT, FCR, ED)의 근활성도가 하지 부위 근육(BF, RF)의 근활성도에 비해 높은 경향을 보였으며, 특히 상부승모근(UT)는 두 가지 작업의 모든 단수에서 15%MVC 이상으로 나타났으며, 단수가 높아질수록 근활성도가 증가하는 경향을 보였다. 이는 van der Molen et al. (2017)에서 10%MVC를 초과하는 힘이 요구되는 작업 시 업무 관련 상지 장애(Work-related upper extremity disorders)의 주요 신체적 위험 요소라는 연구 결과를 고려할 때, 적재 단수가 높아질수록 작업자의 부상 위험이 크다고 사료된다. 그리고 척추기립근(ES)의 경우 두 가지 작업의 모든 단수에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 평균 20%MVC 이상의 근활성도를 보여 단수와 상관없이 중량물 취급 시 근활성도가 높게 나타나는 것을 확인하였다.

IMU 센서의 모션데이터 기반 작업자세 자동평가 결과, 두 가지 작업의 모든 단수에서 RULA, REBA, AWBA 순으로 높은 위험도 단계를 보였으며, RULA, REBA의 경우 두 가지 작업 모두 3단계 이상, AWBA의 경우 3단계 이하의 위험도를 보였다. 이는 상지 중심의 평가 방식인 RULA, REBA와 달리 AWBA는 상지 및 하지를 전반적으로 고려하여 평가하므로, 본 연구의 작업 방식에 따라 다소 상이한 결과가

도출된 것으로 판단된다. 본 연구에서 수행된 작업은 상체와 허리 부분이 비틀어지는 자세에 따라 특정 부위에서 변화하는 근활성도와 고정된 하체 및 그에 따라 변하지 않는 근활성도(Table 7, 8)를 고려할 때, Kong et al. (2018)의 연구 결과인 상체 중심 작업의 경우 RULA, REBA가 AWBA보다 높은 위험도를 보인다는 점과 유사하게 나타나는 것을 확인하였다.

주관적 불편도 결과 두 가지 작업 모두 6단에서 가장 높은 불편도를 보였으며, 2단에서 가장 낮은 불편도를 호소하였다. 이는 1단의 경우 2단에 비해 허리를 더 굽혀 상자를 들어올리는 동작이 필요하기 때문인 것으로 사료된다. 적재 작업의 경우 2단과 3단의 주관적 불편도가 낮은 경향을 보였고, 이는 700mm 높이의 작업대에서 적재 시 허리를 굽히거나 크게 들어올리는 동작 없이 수평으로 이동하여 나타난 결과로 예상된다. 특히 적재 높이가 3단(111cm) 이상부터 불편도 점수가 증가하는 경향을 보였는데, Wu and Chung (2013)에서 팔꿈치 높이에서 작업을 수행할 때 12점 이상의 불편도를 호소하였고, 높이가 높아짐에 따라 불편도가 증가하는 경향을 보여 유사한 결과로 나타났다.

한편 들기 작업 높이에 따른 발 전체의 최대압력을 비교한 연구는 바닥에서 어깨 높이까지 들어올리는 작업이 손바닥 중심 높이에서 어깨 높이까지 들어올리는 작업보다 발 전체 부위의 최대압력이 높게 나타난 것으로 평가되었다(Yeo et al., 2006). 이는 6단까지 들어올리는 운반 및 적재 작업 시 어깨 이상의 높이로 상자를 들어올리기 위해 발의 최대압력이 높아지면서 작업자의 신체적 부담이 증가하는 것으로 미루어 볼 수 있으며, 이는 작업자의 피로도 누적으로 인해 주관적 불편도에 영향이 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 한계점은 실제 농업 현장 및 농업인이 아닌 실험실 기반으로 20, 30대 성인을 대상으로 실험을 수행한 점과 적은 피험자를 대상으로 수행하여 고령 농업인의 작업에 따른 위험도가 다를 수도 있다는 점으로, 향후 이러한 한계점을 보완하여 보다 많은 피험자 수의 실제 농업인을 섭외하여 평가를 수행하고자 한다.

본 연구에서는 기존의 사과 수확 작업 중심의 작업부담 평가 및 개선연구와 달리 선별 작업의 적재 단수에 따른 정량적인 인체 부담을 도출하였으며, 이러한 결과는 사과 과수 농업인의 인체부담 경감 및 편이장비 개발을 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

5. Conclusion

본 연구는 사과 과수 농업인의 인체부담 경감 및 편이장비 개발을 위하여 사과 선별 작업에서의 적재 높이에 따른 작업자의 인체 부담을 정량적으로 평가하였다. 사과 선별 작업 시 인체에 가해지는 부담에 대한 평가 결과를 종합하면, 두 가지 작업 모두 6단에서 근활성도와 자세 위험도가 높게 나타나는 경향을 보였으며, 주관적 불편도 또한 15점(힘듦) 이상 수준을 보였다. 특히 근활성도의 경우 상지 부위(UT, FCR, ED)가 하지 부위(BF, RF)에 비해 높게 나타나는 경향을 보였으며, 인간공학적 평가도구에서는 RULA, REBA가 AWBA에 비해 높은 위험도를 보여 근활성도의 결과와 유사하게 상지 부위의 부담이 높은 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 과거 연구에서 어깨 높이의 상자 들어올리기 작업과 짐 쌓기 작업이 상지 부위 특히 어깨 근육의 부담이 크다는 결과와 유사하며, 이는 사과 선별 작업 중 운반 및 적재 작업이 하지 부위 보다는 상지 부위의 신체 부담이 크다는 것으로 판단된다. 사과 선별 작업 부담의 경감을 위해서는 상지 및 허리 부위에 대한 부담을 최소화할 수 있는 편이장비 등의 개발이 필요하며, 사과 재배 농업인의 수확상자 적재 단수에 따라 인체 부담이 높아질 우려가 있고 과도한 적재 및 중량물 취급을 예방하기 위하여 관련한 작업안전지침이 필요한 것으로 사료된다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ01721902)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Earle-Richardson, G., Jenkins, P.L., Strogatz, D., Bell, E.M., Freivalds, A., Sorensen, J.A. and May, J.J., Electromyographic assessment

of apple bucket intervention designed to reduce back strain, *Ergonomics*, 51(6), 902-919, 2008.

Earle-Richardson, G., Fulmer, S., Jenkins, P., Mason, C., Bresee, C. and May, J., Ergonomic analysis of New York apple harvest work using a Posture-Activities-Tools-Handling (PATH) work sampling approach. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 10(3), 163, 2004.

Houshyar, E. and Kim, I.J., Understanding musculoskeletal disorders among Iranian apple harvesting laborers: Ergonomic and stop watch time studies. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 67, 32-40, 2018.

Kim, S.Y., Shim, H.H., Park, S.S., Shim, J.W. and Kong, Y.K., Development and Validation of an Automatic Ergonomic Evaluation Program based on Motion Data for Working Posture Load Assessment. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 41(6), 481-498, 2022.

Kong, Y.K., Lee, K.S., Lee, J.H. and Choi, K.H., Development and Validation of Agricultural Whole Body Assessment (AWBA), *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 37(5), 591-608, 2018.

Konrad, P., *The ABC of EMG: A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography*, Version 1.4, Noraxon Inc., 2005, https://www.noraxon.com/wp-content/uploads/2014/12/ABC-EMG-ISBN.pdf (retrieved March 11, 2024).

KOSIS (Korean Statistical Information Service), 2020, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1AG204111&conn_path=I2 (retrieved April 30, 2024).

KOSIS (Korean Statistical Information Service), 2023, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0014&conn_path=I2 (retrieved April 30, 2024).

KOSIS (Korean Statistical Information Service), 2023, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0040&conn_path=I2 (retrieved April 30, 2024).

Kroemer, K.H.E., Kroemer, H.J. and Kroemer-Elbert, K.E., *Engineering Physiology: Bases of Human Factors/Ergonomics*, 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

Lee, C.M., Yoo, B.C., Shin, K.H., Park, M.S., Lee, S.W. and Shin, O.H., Development of Reflective film machine for Prevent Musculoskeletal Diseases: Apple orchard agriculture, *In Eromonomics Society of Korea Conference*, 290-293, 2010.

Lee, I.S. and Kim, J.H., Survey of the Characteristics of the Symptoms of Musculoskeletal Disorders among farmers of Fruits and Vegetables, *Journal of the Korean Society of Safety*, 27(6), 144-150, 2012.

Lu, Y., Lu, R. and Zhang, Z., Development and Preliminary Evaluation of a New Apple Harvest Assist and In-Field Sorting Machine, *Applied Engineering in Agriculture*, 38(1), 23-35, 2022.

McCormick, E.J. and Sanders, M.S., *Human factors in engineering and design*, McGraw-Hill Companies, 1982.

Omia, E., Bae, H., Park, E., Kim, M.S., Baek, I., Kabenge, I. and Cho, B.K., Remote sensing in field crop monitoring: A comprehensive review of sensor systems, data analyses and recent advances. *Remote Sensing*, 15(2), 354, 2023.

RDA Farmer safety 365 Home Page, http://farmer.rda.go.kr (retrieved April 30, 2024).

RDA, *Major statistics on agricultural work safety injury and disease in 2023*, RDA, 2023.

Seo, M.T., Kim, H.C. and Jung W.G., Ergonomic Improvements to Agricultural Harvest Baskets to Reduce the Risk of Musculoskeletal Disorders among Farmers, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17), 2002.

Seo, M.T., Kim, I.S., Kim, S.Y. and Park, S.I., A Study on the Characteristics and Subjective perception of Lumbar spine load among apple farmers, *2023 Annual Fall Congress of the Ergonomics Society of Korea*, 2023.

Studman, C., Ergonomics in apple sorting: a pilot study. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70(4), 323-334, 1998.

Van der Molen, H.F., Foresti, C., Daams, J.G., Frings-Dresen, M.H. and Kuijer, P.P.F., Work-related risk factors for specific shoulder disorders: a systematic review and meta-analysis. *Occupational and Environmental Medicine*, 74(10), 745-755, 2017.

Wu, S.P. and Chung, H.C., The effect of operating height and holding mode on holding capacity for female subjects, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 30(4), 248-255, 2013.

Yeo, M.W., Lee, S.D. and Lee, D.C., An Analysis of Stress on Foot by Lifting Height and Angle, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 25(3), 17-24, 2006.

Author listings

Seoung-Yeon Kim: kimsy9035@korea.kr
Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: Researcher, Nation Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration
Areas of interest: Physical ergonomics, Programing, Ergonomics design

Insoo Kim: ergonomist@korea.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Systems and Information Engineering, Korea University
Position title: Junior Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Ergonomics, HCI

Wongeon Jung: wongeon@korea.kr
Highest degree: Ph.D. candidate, Department of Environmental Health Sciences, Seoul National University
Position title: Junior Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Occupational safety and health, Industrial hygiene

Choung Keun Lee: cklee@korea.kr
Highest degree: Ph.D., Graduate School of Agriculture, Kyoto University
Position title: Senior Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Precision agriculture, Agriculture machinery, Smart Farming

Mintae Seo: mtseo85@korea.kr
Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: Junior Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Physical Ergonomics, Occupational Safety and Health Management, Occupational Disease