JESK J Ergon Soc Korea 2023; 42(6): 689-700
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2023.42.6.689
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Assessing the Workload of Sorting Tasks on Musculoskeletal Disorders among Tomato Farmers in Small-Scale Greenhouse

Seoung-Yeon Kim, Insoo Kim, Min-Tae Seo, Choungkeun Lee, Sooin Park

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

소규모 토마토 시설재배 농가의 선별 작업에 대한 근골격계질환 작업부담 평가

김승연, 김인수, 서민태, 이충근, 박수인

농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부

Corresponding Author
Sooin Park
Nation Institute of Agricultural Sciences,
Rural Development Administration,
Jeonju, 54875
Email : sooinpark@korea.kr

Received : October 31, 2023
Revised : November 09, 2023
Accepted : December 04, 2023

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

Objective: This study was conducted to assess the risk of sorting tasks for small-scale tomato farmers using an ergonomic assessment tool to provide suggestions for improving their work environment.

Background: In the case of facility-grown crops, productivity improvements and labor savings have been achieved through the introduction of advanced technologies such as automation. However, small-scale farmers have a high prevalence of musculoskeletal disorders. In particular, facility-grown crops such as tomatoes and cucumbers often involve the handling of heavy objects such as harvested crops during sorting. This requires an assessment of the musculoskeletal workload in order to improve the work.

Method: This study conducted a workload assessment of sorting tasks in ten small tomato farms. Field interviews were conducted to analyze the detailed tasks of sorting, and ergonomic assessment tools (RULA, REBA, AWBA) were used to evaluate the risk of working posture. Simulation analysis using 3D SSPP was performed to evaluate the back strain caused by handling heavy objects. In addition, the Borgs RPE scale was used to measure subjective discomfort for each unit task.

Results: The detailed analysis of the sorting task was divided into six unit tasks. According to the ergonomic posture assessment, the harvest unloading and sorting preparation tasks showed a high risk of more than 3 points, and the back strain assessment showed high L4/L5 and L5/S1 compression forces of 2678.6N and 2707.8N, respectively, during harvest unloading. The subjective discomfort of the whole body was measured as somewhat difficult (14 points) or more in all tasks except the harvesting task. The localized discomfort was mainly found in the lower back, shoulders, and arms with the level of difficult (5 points) or more.

Conclusion: As a result of the study, the harvest unloading task showed a high workload among the six unit tasks. In order to improve it, it is necessary to develop a tool or device that can minimize the range of repetitive movements and the angle at which the waist bends and alleviate the burden of the harvesting load.

Application: The results of the workload assessment for each unit task can be used

to improve the work environment for small tomato farms. The results can also be used to develop ergonomic equipment specific to each unit task.

Keywords: Agricultural workload, Sorting work, MSDs, Greenhouse, Tomato farms

1. Introduction

시설재배 농업분야의 농작업 기계화 및 시설의 자동화 등 첨단기술의 도입은 생산성 향상 및 노동력 절감에 기여하고 있다. 대표적 시설재배 가운데 비닐하우스의 경우 기후의 영향을 적게 받아 안정적인 농작물 생산이 가능한 이점이 있으나(Ryu et al., 2012), 여전히 협소한 작업 공간에 따른 불편한 작업자세, 중량물 취급 등의 열악한 작업 조건으로 인해 농업인에게 근골격계질환 및 안전사고를 초래할 가능성이 높은 것으로 나타났다(Lee et al., 2008). 농업 근로자에 대한 업무상 질병 조사 유병률 결과에 따르면 근골격계질환이 84.6%로 가장 높게 나타났고(RDA, 2021), 비닐하우스 재배 농가의 경우 일반 농작업자와의 비교 결과 농업인의 삶의 질이 낮게 조사되었다(Chong et al., 2010). 비닐하우스 농가 수는 142,386 가구이고(KOSIS, 2022), 재배 면적은 전체 농업 경지면적의 약 5.1%인 82,415ha로 연평균 1.2% 증가하는 추세이다(KOSIS, 2020~2022). 비닐하우스 농가 가운데 단동 형태가 105,303 농가, 연동 형태는 22,861 농가로 대부분 단동 비닐하우스가 전체의 70% 이상을 차지하고 있다(KOSIS, 2022). 특히 시설 토마토의 경우 자동화에 취약하여 근골격계질환 발생 가능성이 높고(Jeong et al., 2017), 인력에 의한 농작업에 대한 작업환경 개선이 요구된다. 이에 농업인의 근골격계질환 예방의 일환으로 다양한 농작업 안전관리 프로그램, 농작업 안전보건 교육 등이 이뤄지고 있으나(RDA, 2023), 소규모 형태의 비닐하우스 농작업 특성에 적합한 편이장비 개발을 위한 인간공학적 작업환경 개선은 여전히 필요한 실정이다.

시설재배 농작업 안전관련 선행 연구와 사례를 살펴보면, 토마토 작목이 8,117가구로 고추, 딸기와 함께 높은 비율을 차지하고 있고(KOSIS, 2020), 근골격계 호소율이 가장 높은 것으로 나타났다(Kim et al., 2008). 토마토 수확 작업 시에 근골격계 부담작업을 OWAS, RULA, REBA 등의 인간공학적 평가한 결과 유병 가능성이 높은 것으로 나타났다(Jeong et al., 2017). 토마토 수확 시에 장시간의 정적 자세와 허리를 굽힌 작업은 L5/S1 부위의 최대 전단력이 446N으로 나타나 허리 부위에 높은 손상 가능성 있는 것으로 조사되었다(SeonWoo et al., 2011). 시설재배 농작업 개선을 위한 편이장비 관련 연구의 경우, 수확상자 손잡이(Seo et al., 2022), 선별 작업대(Lim et al., 2016), 운반수레(Chae et al., 2011; Lee et al., 2010) 등이 있었고, 그 밖에 수확용 레일 운반 도구, 경량수레, 전동 운반차 연구가 있었다(RDA, 2020). 기존의 연구결과로 볼 때, 시설재배 작목의 수확 작업에 대한 인체부담 평가와 이를 개선하기 위한 인간공학적 작업 도구에 관한 개발 연구는 수행되었으나, 소규모 농가에서 이뤄지는 수확물 선별 작업에 대한 작업부담 평가 및 편이장비 개발에 대한 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 소규모 시설 토마토 작목의 선별 작업환경 개선의 일환으로 선별 작업에 대한 단위작업 분류, 인간공학적 도구를 이용한 작업자세, 허리 요추부위의 위험도 평가를 위한 동적 시뮬레이션 분석, 그리고 주관적 신체 불편도를 평가하였다. 이는 시설 토마토 농업인의 근골격계 작업부담 경감 및 편이장비 개발을 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

2. Methodology

2.1 Subject

토마토 선별 작업 작업부담 평가를 위해 전남 고흥군 소재의 소규모 선별작업장을 보유한 시설 농가 10개소의 농업인 10명을 대상으로 실시하였다. 참여한 농업인의 연령은 50.6 (±7.3)세이고, 신장은 170.5 (±5.2)cm, 몸무게는 71.1 (±11.3)kg였으며, 남성 8명, 여성 2명이였다(Table 1). 그리고 참여자의 종사 경력은 평균 9.5 (±7.66)년으로 재배 토마토의 종류는 완숙 토마토 5개 농가, 방울토마토 5개 농가였다.

Table 1. Characteristics of the farmer's physical information

Gender	Num	Age (Year)	Height (cm)	Weight (kg)
Male	8	52.3 (±SD:7.4)	171.9 (±SD:4.4)	72.4 (±SD:11.7)
Female	2	44.5 (±SD:1.5)	165.0 (±SD:3.0)	66.0 (±SD:1.0)
Total	10	50.6 (±SD:7.3)	170.5 (±SD:5.2)	71.1 (±SD:11.3)

2.2 Evaluation method

본 연구에서는 선별 작업에서 이루어지는 단위 작업 부담 평가를 위한 사전 조사로 농작업 현장의 영상 촬영을 실시하였고, 각 단위 작업 별로 빈번하게 발생하는 대표 작업자세를 1차 선정한 후, 농업인 10명, 인간공학 전공자 3명, 농업관련 관련 전문가 2명을 대상으로 FGI (Focus group interview)를 통해 주요 단위 작업에 대한 대표 작업자세와 작업환경을 분석하였다.

작업 부담 평가 방법은 크게 3가지로 1) 인간공학적 자세평가도구, 2) 3D SSPP (3D Static Strength Prediction Program, Center for Ergonomics University of Michigan, USA), 3) Borgs' RPE scale을 활용하였다. 인간공학적 자세평가도구인 RULA, REBA, AWBA 이용하여 단위 작업 별 위험도를 평가하였고, 평가도구 별 위험도 기준을 적용하여 최종 위험도 수준을 도출하였다(McAtamney and Corlett, 1993; Hignett and McAtamney, 2000; Kong et al., 2018) (Table 2).

Table 2. Action assessment table according to RULA, REBA and AWBA assessment scores

Classification	Standard (Score)	Action level (Risk level)
RULA	1 (1~2)	Maybe necessary (Low)
	2 (3~4)	Necessary (Medium)
	3 (5~6)	Necessary soon (High)
	4 (7)	Necessary now (Very high)
REBA	0 (0~1)	None necessary (Negligible)
	1 (2~3)	Maybe necessary (Low)
	2 (4~7)	Necessary (Medium)
	3 (8~10)	Necessary soon (High)
	4 (11~15)	Necessary now (Very high)
AWBA	1	Maybe necessary (Medium)
	2	Necessary (Little High)
	3	Necessary soon (High)
	4	Necessary now (Very high)

3D SSPP 7.1.0 (3D Static Strength Prediction Program, Center for Ergonomics University of Michigan, USA)을 이용하여 L4/L5, L5/S1 부위 압축력을 분석하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다(Figure 1). 작업자세에 대한 시뮬레이션 분석자세는 작업자의 주요 자세에 대한 동영상을 활용하였으며, 인체 모델의 인체 계측(Anthropometric) 데이터는 해당 자세의 실제 작업자 데이터를 적용하여 분석을 수행하였다. 작업 시 취급하는 수확물의 무게는 현장 조사의 인터뷰 결과를 반영하여 실제 취급한 중량을 적용하였다.

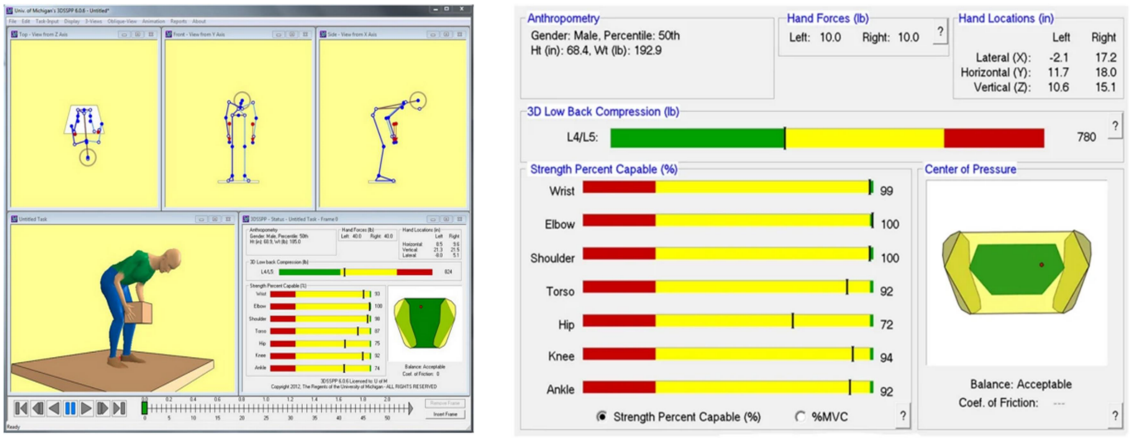


Figure 1. 3D SSPP program (left), Result of lumbar disc compression (right)

Borgs' RPE scale을 이용하여 전신과 국소부위의 주관적 작업 불편도를 분석하였다. 전신의 경우 Borgs' RPE scale의 6~20점 척도를 사용하였다(Table 3 (a)). 척도의 점수는 6점에 가까울수록 주관적으로 느껴지는 전신의 부하가 적고, 20점에 가까울수록 전신의 부하가 크다는 것을 의미한다(Kroemer et al., 1990; McCormick and Sanders, 1982). 국소부위 별 평가의 경우 Borgs' CR-10 scale의 0~10점 척도를 사용하였으며(Table 3 (b)), 목, 허리, 어깨, 팔, 다리 등 5개의 신체부위에 대한 주관적 불편도를 평가하였다(RDA, 2021). 이 척도는 0점에 가까울수록 주관적으로 느껴지는 부하가 적고, 10점에 가까울수록 작업 부하가 크다(Borg, 1982; Åstrand and Rodahl, 1986).

Table 3. Borgs' RPE scale (a) and Borg's CR-10 scale (b)

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

(a)

Score	Rating of perceived exertion
0	No exertion at all
1	Extremely light
2	Easy
3	Moderate
4	Somewhat hard
5	Hard (heavy)
6	
7	Very Hard
8	Extremely Hard
9	Nearly Maximal
10	Maximal exertion

(b)

2.3 Working environment

대상 농가의 재배 규모는 평균 0.36 (±0.1)ha으로 비닐하우스의 크기는 가로 폭은 8~10m, 20~50m였고, 세로 길이는 모두 약 100m 내외 였다. 내부 공간 대부분은 토마토 재배 구역으로 사용되었고, 바로 옆의 구분된 공간에 선별작업장이 위치하였다(Figure 2(a), (b), (c)). 농가는 수확물 운반을 위해 재배 구역에 설치된 천정형 레일과 플라스틱 재질의 수확상자(523 × 336 × 320mm, 48L)를 사용하였다. 선별작업장으로 수확상자 운반을 위해 알루미늄 재질의 경량 손수레를 사용하거나 도수 운반하였고, 그리고 선별작업장 바닥 상태는 평탄한 흙 바닥 또는 시멘트 바닥으로 운반 시 이동이 비교적 용이하였다. 토마토 분류 작업은 8개 농가가 선별작업기를 활용하여 자동 선별된 토마토를 2kg, 5kg로 규격화된 종이 재질의 출하상자(포장박스)에 담거나 수작업으로 선별하였다(Figure 2 (d), (e), (f)).

(a) Outside

(b) Inside (growing area)

(c) Inside (sorting area)

(d) Ceiling rails

(e) Lightweight cart / cart

(f) Sorting machine

Figure 2. Working environment for cultivating tomatoes in small-scale greenhouse

2.4.Statistical analysis

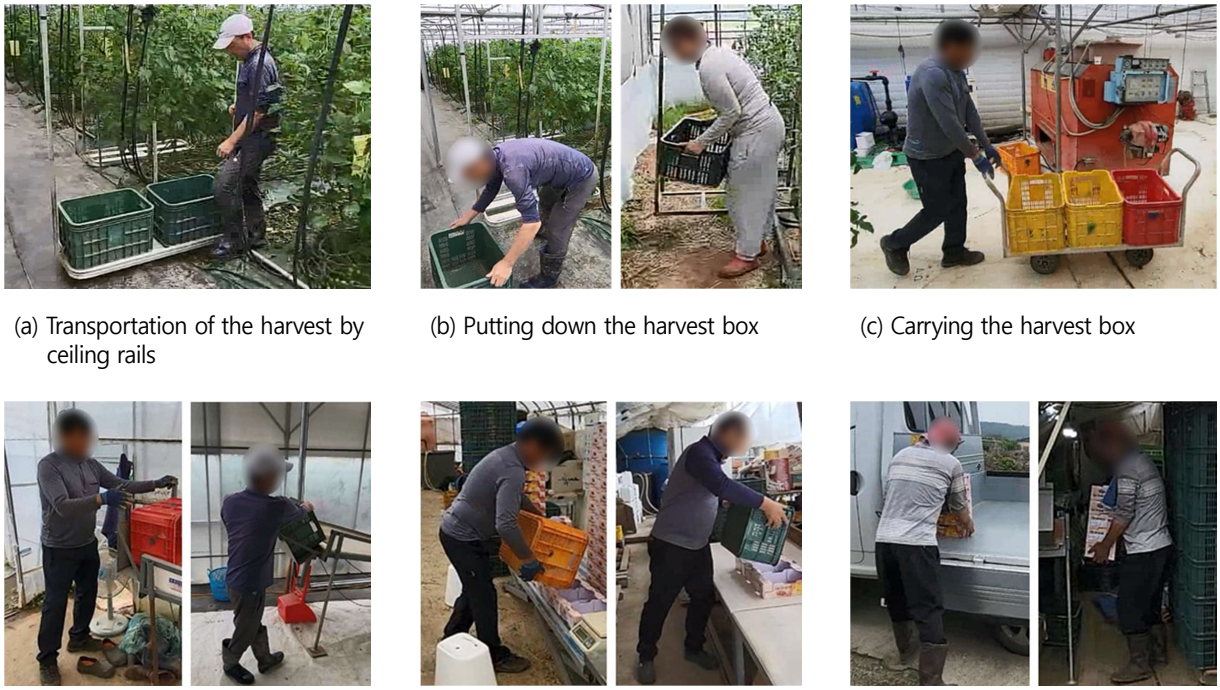
수집된 자료는 SPSS 20 (SPSS Inc, Chicago, Illinois, USA)을 이용하여 분석하였다. 인간공학적 평가도구, 허리 압축력(L5/S1) 및 주관적 불편도(전신, 국소부위)에 대하여 백분율, 평균과 표준편차 등 기술 통계를 이용하였다. 통계적 분석은 인간공학적 평가도구, 주관적 불편도(전신, 국소부위)의 경우 비모수 Friedman 검정을 활용했으며, 허리 압축력의 경우 T-검정을 사용하였다.

3. Results and Discussion

3.1 Analysis of tasks and handling weight

단위 작업 분류를 위한 FGI 분석 결과, 토마토 선별 작업의 범위는 재배 구역 수확 이후 발생되는 수확물의 운반과 분류, 포장, 출하 등 일련의 과정으로 6개의 단위 작업으로 분류되었다. 단위 작업 별로 살펴보면 천정형 레일에 연결된 적재대를 밀어 운반하는 1) 수

확물 운반 작업(Transportation of the harvest by ceiling rails), 적재대에서 수확상자를 내리는 2) 수확물 하차 작업(Putting down the harvest box), 모아둔 수확상자를 선별작업장으로 운반하는 3) 수확 상자 운반 작업(Carrying the harvest box), 수확상자를 선별작업기에 투입하는 4) 선별 준비 작업(Preparation for sorting operations), 선별된 토마토를 출하상자에 포장하는 5) 포장 작업(Packaging), 출하상자를 트럭으로 옮겨 싣는 6) 출하상자 운반 및 적재 작업(Carrying and loading shipping boxes)으로 분석되었다(Figure 3).



(a) Transportation of the harvest by ceiling rails

(b) Putting down the harvest box

(c) Carrying the harvest box

(d) Preparation for sorting operations

(e) Packaging

(f) Carrying and loading shipping boxes

Figure 3. Classification of sub-tasks

취급 중량 작업은 수확 상자 1개 단위로 취급 무게가 평균 15.2 (±1.8)kg이고, 최소 무게는 12kg로 조사되었다. 천정형 레일을 이용한 운반 도구의 경우 1회 사용 시에 수확 상자 2개로 30kg 이상 이였고, 손수레 등의 도구를 1회 사용 시는 2~3개로 45kg 이상으로 나타났다. 출하 상자의 평균 무게는 3.5 (±1.5)kg로 나타났고, 도수 운반 시에는 15kg 이상을 취급하는 것으로 조사되었다. 6개의 단위 작업에서 인력으로 취급하는 중량물의 최소 무게는 15kg 이상으로 분석되었고(Table 4), 인력에 의한 반복 작업의 권장 기준을 고려할 때 농업인의 신체적 부담이 가중될 것으로 판단된다(KOSHA, 2015).

Table 4. Agricultural work environment of tomato crops

Num.	Area (ha)	Period (year)	Harvest box (kg)	Packing box (kg)	Carrying method
1	0.27	1	15	2	Lightweight cart
2	0.20	5	15	2	Manual
3	0.20	25	20	2	Lightweight cart

Table 4. Agricultural work environment of tomato crops (Continued)

Num.	Area (ha)	Period (year)	Harvest box (kg)	Packing box (kg)	Carrying method
4	0.23	7	15	2	Manual
5	0.40	5	15	2	Manual
6	0.40	13	15	5	Lightweight cart
7	0.40	13	15	5	Cart
8	0.43	1	15	5	Cart
9	0.43	20	12	5	Manual
10	0.40	5	15	5	Manual
Average (±SD)	0.36 (±0.1)	9.5 (±7.7)	15.2 (±1.8)	3.5 (±1.5)	_

3.2 Workload evaluation

3.2.1 Analysis of assessment results

6개 단위 작업에서 선별한 120개의 자세에 대하여 인간공학적 자세평가도구를 이용해 위험도 평가를 수행한 결과, 작업자세 단계 별 위험도 평가에서 평균적으로 RULA는 3.4단계, AWBA는 3.2단계, REBA는 2.3단계로 분석되었다. RULA, AWBA의 경우 높은 위험도 수준인 3단계 이상으로 빠른 시일 내 변경이 필요하였으며, REBA의 경우 중간 위험도 수준인 2단계 이상으로 추가 조사 후 변경 필요하여 비교적 낮은 경향을 보였다. 3가지 평가도구에서 단위 작업에 따른 위험도 단계는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p <.05). 단위 작업 중 수확물 하차 작업에서 가장 높은 위험도를 보였으며, REBA, AWBA, RULA 순으로 높게 나타났다. 그리고 AWBA를 제외한 평가도구에서 수확물 운반 작업이 가장 낮은 위험도를 보였고 AWBA의 경우 선별기 투입 작업에서 가장 위험도가 낮게 나타났다(Figure

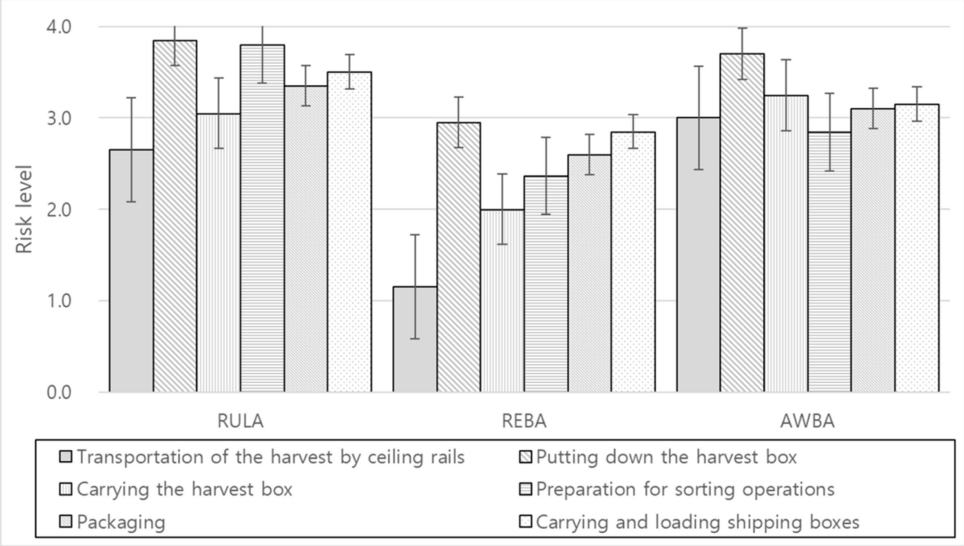


Figure 4. Risk of ergonomic evaluation tools by sub-task (RULA, REBA and AWBA)

4). 평가도구 별 사후분석 결과, RULA는 수확물 하차 작업과 선별 준비, 출하상자 운반 및 적재 작업과 유의한 차이가 없었으나(p >.05), 수확물 운반, 수확 상자 운반 작업과는 유의한 차이를 보였다(p <.05). REBA는 수확물 하차 작업과 포장, 출하상자 운반 및 적재 작업과 유의한 차이가 없었으나(p >.05), 수확물 운반, 수확상자 운반, 선별 준비 작업과 유의한 차이를 보였다(p <.05). AWBA는 수확물 하차 작업과 수확물 운반, 수확상자 운반 작업과 유의한 차이가 없었으나(p >.05), 그 외 모든 작업 간의 유의한 차이를 보였다(p <.05). 이와 같은 이유는 RULA와 AWBA가 REBA에 비해 허리를 굽히는 작업의 평가 점수가 가장 높게 평가된 것을 고려할 때 상체 부담도에 더 민감하게 평가된 것으로 사료된다(Kong et al., 2017; Park et al., 2022).

3.2.2 Analysis results of lumbar compression force

3D SSPP를 이용한 들기 작업 자세에 대한 허리 압축력 시뮬레이션 분석 결과, L4/L5와 L5/S1의 평균 압축력은 각각 1918.9N과 1873.9N로 분석되었고, 모든 부위에서 단위 작업에 따른 허리 압축력은 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p <.05). L4/L5 부위의 단위 작업에 대한 압축력은 수확물 하차(2678.6N), 선별 준비(2215.5N), 상자 운반(2051.4N), 포장(1986.2N), 운반 및 적재(1483.1N), 수확물 운반(1098.8N) 순으로 나타났고, L5/S1 부위는 수확물 하차(2707.8N), 선별 준비(2111.2N), 포장(2036.7N), 수확상자 운반(1970.2N), 출하상자 운반 및 적재(1537.1N), 수확물 운반(880.6N)으로 나타났다(Figure 5). 허리부위(L4/L5와 L5/S1)에 가해지는 압축력은 모든 수확물 하차, 선별 준비 작업 순으로 허리 압축력이 높았으며, 수확물 하차, 포장, 운반 및 적재 작업에서 요추 상단에 위치한 L4/L5 보다 하단에 위치한 L5/S1에 가해지는 압축력이 비교적 큰 것으로 나타났다. L4/L5와 L5/S1 모든 부위에서 NIOSH 한계 기준인 3,400N을 초과하는 작업은 없었으나, 수확물 하차, 선별 준비 작업의 경우 2,000N 이상의 압축력을 보였다. 이와 같은 결과로 볼 때, Adams et al. (1994)에서 500N 하중에서 요추 관절의 손상이 발생되었다는 연구를 고려하면 순간적으로 발생하는 요추 압축력이라 할지라도 선별 작업 시 작업자가 느끼는 작업 부담은 수준이 높은 것으로 판단된다.

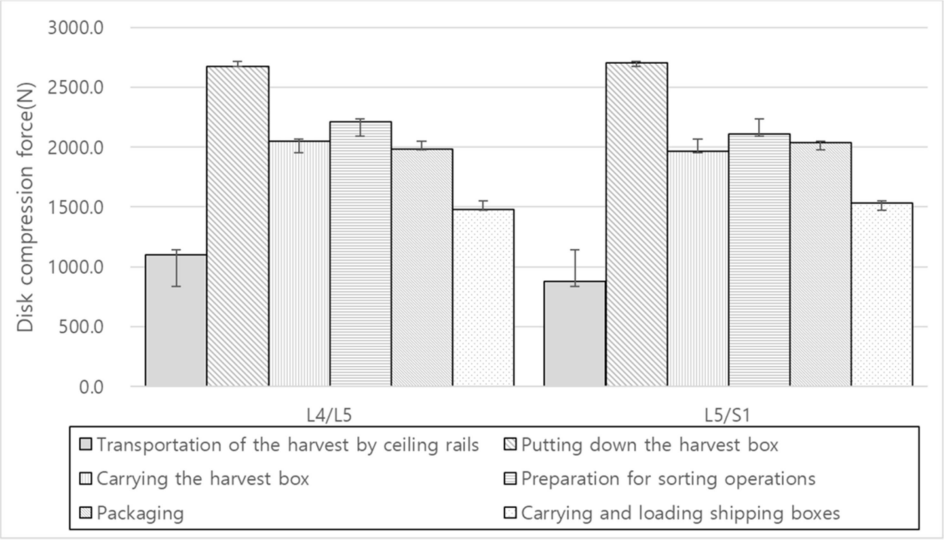


Figure 5. Disk compression force by sub-task (L4/L5 and L5/S1)

3.2.3 Analysis results of subjective discomfort ratings

Borgs' scale의 전신 및 국소부위 별 불편도 조사 결과, 전신 불편도는 평균 14.1점으로 다소 힘듦 이상 수준을 보였고, 국소부위 별 불편도 평균은 팔(5.7점), 허리(5.6점), 어깨(5.5점), 다리(5.0점), 목(3.1점) 순으로 목과 다리 부위를 제외한 모든 부위에서 힘듦 이상 수준으로 조사되었다. 전신 불편도와 국소부위 별 불편도 모두 단위 작업은 모든 단위 작업에서 통계적으로 유의하지 않았으나(p >.05). 단위 작업 별 전신 불편도 점수는 상자 운반(14.8점), 포장(14.8점), 선별 준비(14.7점), 수확물 하차(14.4점), 운반 및 적재(14.2점), 수확

물 운반(11.5점) 순으로 선별기로 운반과 포장 작업에서 가장 높은 불편도를 호소하였으며, 수확물 운반 작업은 가장 낮은 불편도를 보였다. 그리고 수확물 운반 작업을 제외한 모든 작업에서 평균 이상의 불편도 점수를 보였으며, 다소 힘듦 이상 불편도 수준으로 나타났다(Figure 6). 단위 작업 별 국소부위 불편도에서 허리, 어깨, 팔 부위에서 수확물 운반을 제외한 모든 작업에서 5점 이상의 힘듦 이상의 불편도를 보였다. 허리부위의 불편도는 10~15kg의 중량물을 들고 옮기는 작업에서 높은 불편도를 보였고, 팔과 어깨부위 경우 중량물을 들고 올려 뻗는 작업에서 높은 불편도를 보였다. 그리고 다리부위 모든 작업에서 4점 이상으로 다소 힘듦 수준 이상의 불편도를 보였다(Figure 7). 2,000N 이상 허리 압축력을 보인 수확물 하차와 선별 준비 작업의 경우 작업자가 느끼는 부담이 높은 수준으로 나타났고, 반복적인 중량물 취급으로 인해 농업인이 허리부위에서 많은 통증을 호소한다는 기존의 통계 결과와 유사한 결과를 보인다(RDA, 2021). Ryu et al. (2005)에 따르면 외부 부하가 있을 경우 어깨각도가 90도 이상이면 작업자의 불편도에 미치는 영향이 크다.

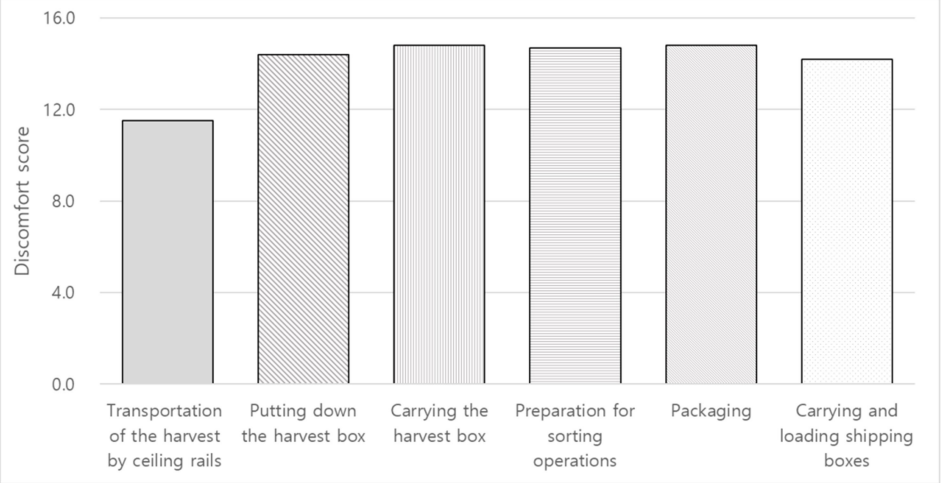


Figure 6. Whole-body discomfort score by sub-task

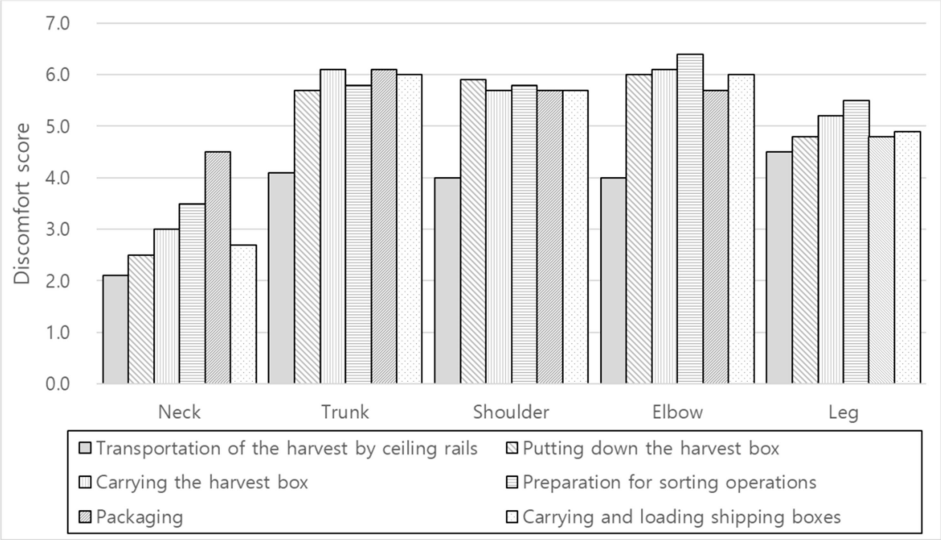


Figure 7. Local body discomfort score by sub-task

4. Conclusion

본 연구는 소규모 시설 비닐하우스에서의 토마토 선별 작업에 대하여 세부 단위 작업 분류를 수행하였으며, 분류된 단위 작업들에 대하여 인간공학적 평가도구(RULA, REBA and AWBA), 허리 압축력(L4/L5, L5/S1), 주관적 불편도를 이용해 직무 부담 평가 결과를 도출하였다.

토마토 선별 작업에 대하여 6개 세부 단위 작업으로 분류 및 분석결과를 종합한 결과, 수확물 하차 작업에서 3가지 인간공학적 평가도구 위험도 및 허리 압축력이 가장 높게 나타났으며, 주관적 불편도도 힘듦 이상(14점) 수준을 보여 세부 단위 작업 중에서 가장 부담이 컸다. 이는 작업자의 허리 높이 이하의 작업점으로 인해 상체 부담이 높고(Park et al., 2022), 15kg 이상의 중량물 취급으로 인해 허리 부담을 가중시키는 것으로 판단되어진다(Marras et al., 1992). 소규모 시설하우스 토마토 선별 작업 부담의 경감을 위해서는 해당 작업에 대하여 반복적인 움직임의 범위와 하중의 부담을 최소화할 수 있는 방향의 작업도구나 장치의 개발이 필요할 것으로 보인다.

본 연구에서 근골격계질환 예방을 위한 인간공학적인 편이장비 개발을 위한 기초자료를 제시하는데 의미가 있으나, 편이장비 개발을 위한 실험 평가를 수행하지 못한 한계가 있다. 향후 본 연구를 기반으로 IMU 기반의 모션 분석 등 객관적 분석을 통한 편이장비 개발을 진행할 것이다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science and Technology Development (Project No. RS-2022-RD010384)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Adams, M.A., McNally, D.S., Chinn, H. and Dolan, P., The clinical biomechanics award paper 1993 Posture and the compressive strength of the lumbar spine, *Clinical Biomechanics*, 9(1), 5-14, 1994. doi:10.1016/0268-0033(94)90052-3

Åstrand, P.O. and Rodahl, K., *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise*, 3rd ed. McGraw-Hill, New York, 1986.

Borg, G.A.V., Psychophysical Bases of Perceived Exertion, *Medical Science Sports Exercise*, 14(5), 377, 1982.

Chae, H., Kim, S., Kim, K., Lee, K., Kim, H. and Park, K., Prevention of work-related musculoskeletal disorders in grapes pinching by using electro-motion scissors designed ergonomically, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 30(6), 749-755, 2011.

Chong, B.H., Yang, C.Y. and Oh, G.J., The Difference of Subjective Symptoms of Musculoskeletal Disorders and Health Related Quality of Life in Vinylhouse and Non-vinylhouse Farmers. *Journal of the Korean Society of Safety*, 25(4), 68-75, 2010.

Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, 31(2), 201-205, 2000.

Jeong, E.S., Yang, M., Son, D. and Cho, S.I., Ergonomic Evaluation of a Powered Rail Trolley in a Tomato Greenhouse, *In Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference*, 143-143, 2017.

Kim, K.R., Choi, J.H., Lee, K.S. and Song, E.Y., Health condition and work-related musculoskeletal disorders in greenhouse vegetable farmers. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, 18(1), 49-61, 2008.

Kong, K.Y., Lee, S.Y., Lee, K.S. and Kim, D.M., Comparisons of ergonomic evaluation tools (ALLA, RULA, REBA and OWAS) for farm work, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 24(2), 218-223, 2017. doi:10.1080/10803548.2017.1306960

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.

Korea Occupational Safety&Health Agency (KOSHA), *KOSHA GUIDE G-119-2015*, 2015.

KOSIS (Korean Statistical Information Service), 2020, 2021, 2022, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0040&conn_path=I2 (retrieved October 23, 2023)

KOSIS (Korean Statistical Information Service), 2020, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1AG201016&conn_path=I2 (retrieved October 23, 2023)

KOSIS (Korean Statistical Information Service), 2022, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EA1025&conn_path=I2 (retrieved October 23, 2023)

KOSIS (Korean Statistical Information Service), 2022, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EA1048&conn_path=I2 (retrieved October 23, 2023)

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, K.S., Kim, K.W., Choi, H.S., Kim, C.H., Nam, S.Y., Lee, K.M., Choi, Y.W. and Park, K.S., Evaluation of convenience equipment for improve work efficiency and preventing of farm work-related musculoskeletal disorders, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(4), 495-503, 2010.

Lee, M.S., Park, K.S., Hong, C.W. and Park, J.H., The current situation and development of the support project of compact equipment to be convenient for use in agricultural work to apply ergonomics. *In Eromonomics Society of Korea Conference*, 302-305, 2008.

Lim, C., Lee, K., Kim, K., Kim, H., Seo, M., Kim, S. and Chae, H., Development and Assessment of Shovel Applying Foothold, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 35(2), 67-74, 2016.

Marras, W.S., Fathallah, F.A., Miller, R.J., Davis S.W. and Mirka, G.A., Accuracy of the three dimensional lumbar motion monitor for recording dynamic trunk motion characteristic, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 9(1), 75-87, 1992.

McAtamney, L. and Corlett, E.L., RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomic*, 24(2), 91-99, 1993.

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

Park, H.G., Kang, S.H., Kim, Y.G., Nam, Y.J., Kwon, S.G., Kim, Y.S., Uyeh, D.D., Woo, S.M. and Ha, Y.S., Factual Survey for Garlic Collecting Task and Musculoskeletal Harmful Factors Analysis of Task Postures, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 41(6), 449-465, 2022.

RDA Farmer safety 365 Home Page, http://farmer.rda.go.kr (retrieved October 23. 2023)

RDA, *2020 Agricultural Work Convenience Equipment Handbook*, Sammi Design, 2020.

RDA, *2020 Easy-to-understand Farmer's Occupational Illness*, moonyoungdang, 2021.

Ryu, D.K., Chung, S.O., Choi, J.Y., Hur, S.O., Jeon, S.H. and Kim, H.H., Survey of Variability in Soil Water Content in a Greenhouse. *In Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference*, 17(1), 461-464, 2012.

Ryu, T.B., Park, Y.J., Na, S.H., Chung, M.K. and Kee, D.H., Evaluation of varying shoulder postures with external loads using a psychophysical method, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 24(2), 9-15, 2005.

Seo, M., Kim, H. and Jung, W., 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), 10669, 2022.

SeonWoo, H., Lim, K.T., Kim, J.H., Son, H.M. and Chung, J.H., Measurement of Worker's Physiological and Biomechanical Responses during the Cherry Tomato Harvesting Work in a Greenhouse, *Journal of Biosystems Engineering*, 36(3), 223-230, 2011.

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

Min-Tae 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

Choungkeun 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

Sooin Park: sooinpark@korea.kr
Highest degree: B.S., Department of Electronic Engineering, Konkuk University
Position title: Junior Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Electronic Engineering, Ergonomic Tools Design