

Ergonomic Evaluation of Working Postures of Blueberry-harvesting Tasks

Inseok Lee, Yonghwi Kim

Hankyong National University, Department of Civil, Safety and Environmental Engineering and Research Center for Applied Human Sciences, Anseong, 17579

블루베리 수확 작업의 작업자세 분석 및 인간공학적 평가

이인석, 김용휘

한경대학교 토목안전환경공학과/인간과학응용연구소

Corresponding Author

Inseok Lee

Hankyong National University,
Department of Civil, Safety and
Environmental Engineering and Research
Center for Applied Human Sciences,
Anseong, 17579
Phone : +82-31-670-5286
Email : lis@hknu.ac.kr

Received : July 11, 2019

Revised : July 12, 2019

Accepted : July 17, 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 aim of this study is to evaluate the postural load of blueberry-harvesting tasks based on continuous observation of working postures and measurement of wrist angles with electronic goniometers.

Background: Agricultural workers are known to be highly exposed to various risk factors of musculoskeletal disorders. The blueberry-harvesting workers have to carry out the repetitive manual tasks for a long time in a very hot summer season. Their work has not yet been studied sufficiently for us to understand the postural load of the tasks based on quantitative and objective data.

Method: Four female workers were video-recorded while they are carrying out their normal work of blue-berry harvesting. Their tasks were categorized as 3 subtasks of pricking, storing, and miscellaneous. The working postures were continuously observed and categorized according to the postural classification based on REBA using a computer S/W program, CAPTIV. The estimated working time a day for each subtask, the percentage for the categorized working postures of lower arm, upper arm, neck, trunk, and leg, and the mean and maximum sustained times for each posture were analyzed. Their wrist angles were measured using electronic goniometers while they were carrying out their normal work. The positions, movements, and frequencies of the wrist motions were analyzed.

Results: It was shown that the workers spent 82% of their working time on picking, with 11.9 sec and 45.0 sec of mean and maximum sustaining time of picking. They took mild or severe bending postures in their trunk for 55.7% of the working time and mild bending in the neck for 50.2% of the working time. They elevated their arms to the shoulder height for more than 60% of the working time, and 11.4% and 26.7% of the working time for squat sitting and unbalanced standing, respectively. The maximum sustaining times for mild and severe bending for the trunk are 56.9 sec and 37.3 sec, respectively, and 72.9 sec, 56.0 sec, and 46.6 sec for the mild bending of neck, severe arm elevation, and squat sitting, respectively. It was found that the workers mostly assumed extended wrist postures, though the workload on the wrist seemed to be moderate according to the positions, movements, and frequencies of wrist flexion/extension and deviations, as compared to previous studies of other repetitive work.

Conclusion: It was shown that the workers have to carry out the picking tasks in the most time. They took non-neutral postures in the trunk, arms, legs and neck for the most of the working time. It can be resumed that the workers are very highly exposed to the risks of musculoskeletal disorders.

Application: The results of this study can be used as a basic and practical data for the study for preventing musculoskeletal disorders of blueberry-harvesting workers.

Keywords: Harvesting blueberries, Working postures, Postural workload, Electronic goniometer

1. Introduction

블루베리는 최근 우리나라에서 소비가 증가하고 있는 대표적인 새로운 과수 작목 중 하나이다. 우리나라 블루베리 생산 규모는 2017년에 약 150만주로 2015년에 비해 34.9% 증가하였으며(Statistics Korea, 2019), 생산 면적은 2015년 2,305ha로 2007년 대비 20.6배 증가하였다(NIHHS, 2019). 블루베리는 일반적으로 노지에서 재배하며, 블루베리 재배 작업은 시비, 제초, 전정, 수확, 선별 및 포장 등의 작업으로 구성되어 있다. 각 작업 단계마다 작업 특성이 다르고 작업자에게 부담을 줄 수 있는 위험요인이 다양하다. 그 중 수확 작업은 거의 수작업에 의존하고 있어 반복적인 동작과 다양한 작업자세가 작업자에게 부담이 되는 요인으로 보고되고 있다(Estill and Tanaka, 1998; Kim et al., 2018). 블루베리 열매는 높이가 작업자 무릎 아래에서부터 머리 높이까지 다양하기 때문에 수확 작업자는 다양한 자세를 취하게 되며, 별도의 도구 없이 손으로 블루베리를 일일이 따기 때문에 손과 팔의 반복 동작이 많다. 또한, 블루베리는 주로 5~8월에 수확하기 때문에 작업자가 강한 햇볕에 노출되어야 하는 환경적 부담도 작업부하를 높이는 원인이라 할 수 있다. 기존 연구에서도 블루베리 수확 작업 중 부적절한 작업자세, 반복 동작, 중량물 취급 등으로 인한 작업부하 평가 연구에서 작업 방법 및 작업도구 개선의 필요성이 제기된 바 있다(Estill and Tanaka, 1998; Kim et al., 2018).

작목에 따라 위험요인 특성은 다양하지만, 일반적으로 농업인은 근골격계질환 위험요인에 많이 노출되어 있는 것으로 알려져 있다. 농업인의 근골격계 통증 호소율은 80% 이상인 것으로 보고되고 있으며, 특히 요통, 무릎 통증을 많이 호소하는 것으로 알려져 있다(Ko, 2012; Kim, 2015). 농업인의 근골격계질환 유병률을 조사한 연구에서 농업인은 비농업인에 비해 유병률이 8.96배 높은 것으로 보고되었으며(Sur et al., 2015), 외국의 경우에도 농업인의 근골격계질환 유병률이 76.9%에 달하는 것으로 보고되고 있다(Osborne et al., 2012). 농업인의 근골격계 통증 호소는 작목의 작업 특성에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 포도 재배 농업인의 경우에 어깨, 허리, 무릎, 목 등에서 증상 호소율이 높은 것으로 보고되었는데, 이는 작업점이 눈 높이 이상인 작업 환경과 장시간 선 자세와 상지 들기 자세를 반복해서 취해야 하는 작업 특성과 관련이 있는 것으로 추정된다(Lee et al., 2008; Lee and Kim, 2012).

농업인이 근골격계질환 유해요인에 많이 노출되어 있는 것으로 보고되고 있는 것에 비해, 농작업의 위험요인 특성을 세밀하게 조사하고 평가하는 연구는 아직 많이 이뤄지지 않고 있다. 농업인 대상 설문 기반의 근골격계질환 증상 및 유병률 조사 및 관련 유해요인 평가 연구는 여러 차례 보고되고 있으나(Lee et al., 2008; Ko, 2012; Lee and Kim, 2012; Kim, 2015; Sur et al., 2015; Kang et al., 2016), 실제 농작업을 대상으로 작업자세, 작업 빈도, 힘 등을 정량적으로 측정하거나 인간공학적인 위험성을 평가한 연구는 상대적으로 부족하다. Kim and Lee (2017)은 포도 수확 작업자의 상지 동작을 전자고니오미터(electronic goniometer, 전자 각도계)로 측정하여 작업 특성에 따른 손목과 팔꿈치 각도를 분석한 바 있다. Park et al. (2017)은 사과, 배, 포도 등의 과수 작목에서 주요 작업단계의 작업부하를 REBA를 이용하여 평가하여, 작업자세와 작업시간을 바탕으로 인간공학적인 위험성 평가를 수행한 바 있는데, 이 연구에서는 실제 작업자세를 대상으로 세밀하게 관찰하기 보다는 전반적인 작업 특성을 고려해서 작업부하를 평가하였다. 외국의 경우, 바나나 수확 작업자들의 동작과 근활성도를 관성측정장치(inertial measurement unit, IMU)와 근전도(Electromyogram, EMG)를 이용하여 측정하여 평가한 바 있으며(Merino et al., 2019), 실제 현장에서 농작업을 대상으로 직접 인간공학적인 평가를 하기 어려운 점을 보완하기 위하여 실험실에 농작업과 유사한 환경을 구축하여 모의 작업 환경에서 농작업 작업부하를 평가한 바도 있다(Jin et al., 2009).

본 연구의 목적은 블루베리 수확 작업의 실제 작업자세와 동작을 측정하여 정량적 분석을 통해 블루베리 수확 작업을 작업자세 특성을 파악하고 인간공학적인 평가를 하는 것이다. 작업자세 분석은 작업영상을 관찰하는 방식과 전자고니오미터를 이용하는 방식을 병행하였다. 전자고니오미터는 양 손의 손목의 동작을 측정하는데 활용되었으며, 나머지 신체부위의 작업자세는 작업영상을 관찰하여 분석하였다. 작업자세 분석 결과는 작업부하 수준을 파악하는 것뿐만 아니라 작업 개선을 하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. Method

2.1 Subject

이 연구는 4명의 여성 블루베리 수확 작업자를 대상으로 하였다. 이들의 평균(표준편차) 나이, 키, 몸무게, 농업 종사 경력은 각각 58.8 (± 4.3)세, 159.3 (± 1.9)cm, 59.8 (± 7.8)kg, 8.3 (± 2.5)년이다. 이들은 모두 오른손잡이였고, 작업을 하지 못할 정도의 특별한 통증이나 근골격계질환이 없는 상태였다. 이들은 블루베리 수확을 위해 농장에 고용된 작업자들이었으며, 수확 작업이 없는 시기에는 과수 및 채소 등 다른 작목의 농작업을 하고 있었다. 이들은 연구 목적과 내용에 대해 충분히 설명을 들은 후에 자발적으로 실험에 참여하였다.

2.2 Blueberry-harvesting tasks

작업자들은 별도의 도구 없이 맨손으로 블루베리를 따서 플라스틱 바구니에 담는 방식으로 작업하였다. 작업은 크게 따기(picking), 담기(storing), 기타(miscellaneous) 등 3개의 요소 작업으로 구분하였다(Figure 1). 따기 작업은 한 손으로 가지를 잡고 다른 손으로 익은 블루베리를 따는 작업이고, 담기 작업은 딴 블루베리를 바구니에 담는 작업이다. 그 외에 따야 할 블루베리를 찾거나 이동하는 등의 동작은 기타 작업으로 분류하였다. 블루베리 나무는 약 150cm 가량 되었으며, 작업자들은 무릎 아래부터 어깨 높이 이상까지 다양한 높이에서 익은 블루베리를 찾아서 따다. 블루베리는 주로 5~8월에 노지 농장에서 수확하기 때문에 작업자들은 햇빛에 피부노출을 최소화하기 위해 긴팔 옷과 토시, 모자, 장갑 등을 착용하였고, 무릎 아래 높이에서 수확할 때 사용할 농업용 방석의자도 착용하였다. 작업은 오전 6시부터 오후 4시까지 진행되며, 작업자들은 휴식 및 식사시간을 제외하고 하루 8시간 동안 작업한다.



(1) Picking

(2) Storing

(3) Miscellaneous

Figure 1. Subtasks of blueberry-harvesting tasks

2.3 Working posture analysis

본 연구에서는 목(neck), 몸통(trunk), 다리(leg), 상완(upper arm), 전완(lower arm) 등 5개 부위에 대해서는 관찰 방식으로 작업자세를 분석하였으며, 손목(wrist) 자세는 전자고니어미터를 이용하여 정량적으로 측정된 자료를 바탕으로 분석하였다. 관찰 기반의 작업자세를 위한 5개 신체부위에 대해서는 REBA의 분류체계를 기반으로 변형한 자세분류체계를 활용하였다(Hignett and McAtamney, 2000) (Table 1). 목과 허리는 굴곡/신전에 따라 3단계로 비중립 자세를 정의하고 측면굴곡 및 회전 자세를 추가 보정 자세로 반영하였다. 다리 자세는 무릎 각도를 기준으로 2단계의 비중립 자세를 정의하고 불균형 자세를 추가 보정 자세로 반영하였다. 상완은 어깨 각도를 기준으로 3단계 비중립 자세와 어깨 들림 혹은 외전 자세를 추가 보정 자세를 정의하였고, 전완은 팔꿈치 각도를 기준으로 2단계 비중립 자세를 정의하였다. 상완과 전완의 자세는 왼팔과 오른팔 각각 나누어 관찰하여 기록하였다.

작업자세 기록과 분석은 작업자세 분석 프로그램인 CAPTIV (TEA, France)를 이용하였다. 분석 프로그램에 요소 작업과 각 신체부위별 작업자세를 기록하기 위한 코딩체계를 설정한 후에, 작업 영상을 보면서 각 신체부위별 자세를 기록하였다(Figure 2). 자세 관찰은 연속 관찰 방식에 의해 각 신체부위의 자세에 변화가 있을 때마다 기록하는 방식으로 진행하였고, 관찰의 일관성을 위해 인간공학을 전공한 연구원이 모든 관찰을 진행하였다.

Table 1. Classification and definition of working postures

Body parts	Postures		Joint angles	Adjustment
Neck	Neutral		0°	Lateral bending and twisting
	Bending ¹	Mild	-20°~20°	
		Severe	< -20° or 20°~60°	
		Extreme	> 60°	
Trunk	Neutral		0°	Lateral bending and twisting
	Bending ¹	Mild	-20°~20°	
		Severe	< -20° or 20°~60°	
		Extreme	> 60°	
Leg	Neutral		Standing	Unbalance
	Bending ²	Mild	< 30°	
		Severe	Over 30° or squat sitting	
Upper arm	Neutral		-20°~20°	Shoulder elevation or abduction
	Bending ³	Mild	< -20° or 20°~45°	
		Severe	45°~90°	
		Extreme	> 90°	
Lower arm	Neutral		0°~60°	-
	Bending ⁴	Mild	60°~100°	
		Severe	> 100°	

¹Flexion and extension in the trunk or in the neck; ²Knee flexion; ³Flexion and extension of the upper arm; ⁴Elbow flexion

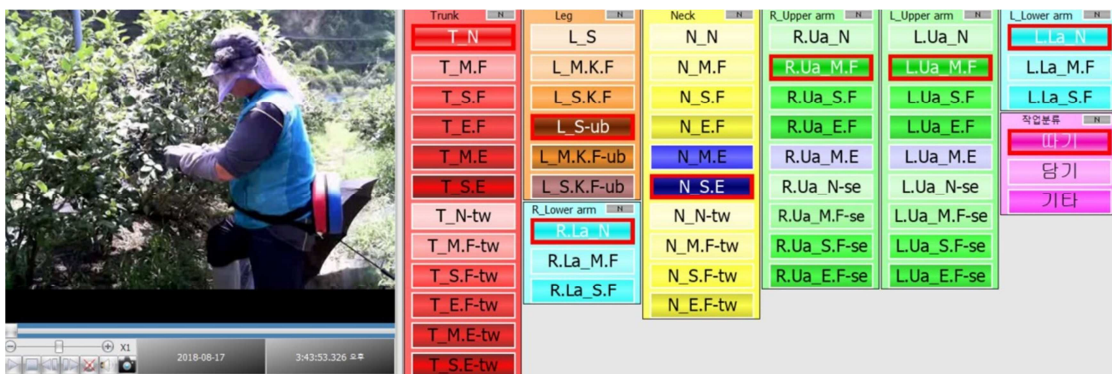


Figure 2. An example of coding of work phase and working posture

2.4 Measurement of wrist angles

본 연구에서는 무선 데이터 처리 장치(Telemyo DTS system, Norxon Inc, USA)와 전자고니오미터(Biometrics, UK)를 이용하여 손목의 각도를 측정하였다. 전자고니오미터는 2차원 측정이 가능하고 측정 범위는 $\pm 150^\circ$ 이다. 데이터 처리 장치의 A/D 변환 표본추출률은 1,500Hz이며, 실제 데이터 분석에서는 20Hz로 표본을 재추출하여 데이터 수를 줄였다. 측정된 손목의 각도는 굴곡/신전(Flexion/Extension, F+/E-, +/-는 각각 각도표시 부호를 의미함)과 척측/요측 편향(Ulnar/Radial deviation, U+/R-)이다.

2.5 Procedure

블루베리 수확작업 촬영 및 손목각도 측정을 하기에 앞서 수확 작업자에게 실험 목적 및 방법에 대하여 설명하고 참여 의사를 확인하였다. 자발적으로 참여를 희망하는 작업자를 대상으로 나이, 키, 몸무게, 농작업 경력 등 기본정보와 근골격계 증상 여부를 조사하였다. 전자고니오미터는 Kim and Lee (2017)에 설명된 방식에 따라 피실험자가 팔을 정면으로 뻗은 상태에서 양쪽 손목에 부착하였으며, 평소와 같이 팔을 움직이도록 하여 작업을 수행하기에 불편함이 없는지 확인하였다. 작업을 시작하기에 앞서 피실험자가 선 상태에서 팔은 자연스럽게 내린 중립 자세를 취하도록 한 후에 영점 설정(zero-offset setting)을 하고, 손목의 굴곡/신전, 척측/요측 편향의 최대 각도를 측정하였다. 전자고니오미터 부착이 완료된 후 피실험자에게 평소와 같이 수확 작업을 하도록 한 후, 손목 각도 측정과 동시에 작업 장면을 촬영하였다.

2.6 Data analysis

작업에 대해서는 요소 작업별 작업시간과 빈도를 계산하였으며, 측정된 시간의 비율을 기준으로 작업자들이 8시간 작업을 수행하는 것으로 가정하여 요소 작업별 1일 작업시간을 산출하였다. 작업자세에 대해서는 각 신체부위에서 자세별 비율, 지속시간, 최대지속시간을 산출하였다. 손목 자세와 동작에 대해서는 측정된 각도 자료를 20Hz로 표본 추출한 후에 FIR low-pass filtering (cutoff frequency 5Hz) 하였다(Hansson et al., 1996; Chen et al., 2010). 손목의 굴곡/신전 및 편향 각도에 대해서 10%, 50%, 그리고 90% APDF (amplitude probability distribution function) 값을 각각 구하였다. 10%와 90% APDF는 각각 해당 운동자유도의 관절각 최소치와 최대치를 의미하며, 50% APDF는 중위값으로서 해당 운동자유도 관절각의 대표값으로 사용될 수 있다. 손목의 동작을 분석하기 위해 굴곡/신전과 편향 각도에 대해 각속도를 구하여 50%, 90% APDF와 평균각속도를 구하였으며, 손목 동작의 정적 상태에 해당하는 $1^\circ/s$ 이하의 각속도 비율을 구하였다. 그리고, 각도 자료에 대해 고속푸리에변환(fast Fourier transform, FFT)을 실시한 후에(window length 1024 point), MPF (mean power frequency)를 구하여 손목 동작의 빈도를 파악하였다. 이 연구에서는 측정된 결과에 대해서 별도의 통계적 검정을 실시하지 않고 평균과 표준편차를 제시하였는데, 이것은 피실험자수가 4명으로 적고 요소작업 분석 결과 대부분 따기 작업에 해당하기 때문에 작업의 특성이나 왼손/오른손 동작 특성을 비교 분석하기에는 통계적 검정이 유효하지 못하다고 판단되었기 때문이다. 따라서, 본 연구의 결과는 블루베리 수확작업의 실제 작업자세 및 동작 특성을 정량적으로 이해하고 작업부하 수준을 평가하는데 활용할 수 있을 것으로 보인다.

3. Results

3.1 Working time and frequency of subtasks

작업자들의 작업 촬영 시간은 평균 472.5초(383 ~ 625초)였다. 이들의 작업을 요소작업으로 분류한 결과 전체 시간 중 평균 82.2%는 따기 작업에 해당하고, 14.6%는 담기 작업, 그리고 나머지 3.3%는 기타에 해당하였다(Table 2). 요소 작업별 빈도는 따기와 담기가 각각 34.0회와 32.0회로 1분당 약 4.1~4.3회에 해당한다. 이 비율을 8시간 작업을 기준으로 변환하였을 때, 따기 작업은 약 394.4분에 걸쳐서 2,073회, 담기 작업은 약 69.9분 동안 1,951회 정도 수행하는 것으로 추정된다. 단, 이 빈도는 따기 동작이나 담기 동작의 빈도가 아니라 연속해서 따기 작업이나 담기 작업을 진행한 것을 1회로 하는 작업의 빈도이다.

각 요소 작업의 평균 지속시간은 따기 작업이 11.9초로 가장 길었고, 담기 작업은 2.1초, 기타는 6.6초로 나타났다. 각 작업자들의 요소 작업별 최대지속시간의 평균은 따기 작업이 45.0초로 다른 작업에 비해 매우 높게 나타났다. 작업자들은 블루베리를 딸 때 한번

따서 바로 바구니에 담지 않고 여러 차례 블루베리를 딴 다음에 수확한 블루베리를 모아서 바구니에 담는 방식으로 작업을 하기 때문에 따기 작업의 지속시간이 다른 작업에 비해 긴 것으로 나타났다.

Table 2. Measured and estimated working time and frequency of the subtasks

		Subtasks			Total
		Picking	Storing	Mis.	
Measurement	Mean working time (s) (percentage)	388.2 (82.2)	68.8 (14.6)	15.5 (3.3)	472.5 (100)
	Mean work frequency	34.0	32.0	2.5	68.5
	Mean (SD) work-lasting time (s)	11.9 (2.8)	2.1 (0.3)	6.6 (1.7)	-
	Mean (SD) maximum work-lasting time (s)	45.0 (21.5)	6.5 (2.7)	8.7 (3.5)	-
Estimation	Work time (min)	394.4	69.9	15.7	480
	Work frequency	2,073	1,951	152	-

3.2 Working postures and sustaining time

각 작업자들의 신체부위별 작업자세 비율의 평균을 구하였다(Table 3). 전완은 좌우 양측 모두 전체 작업 중 75% 이상이 팔을 60° 이하로 굽히는 중립자세였는데, 나머지 신체부위에서는 비중립적 자세의 비율이 훨씬 높은 것으로 나타났다. 특히, 좌우 양쪽 어깨에서는 팔을 45° 이상으로 드는 severe bending 자세가 60% 이상으로 나타나, 장시간 동안 팔을 드는 작업이 많은 것으로 나타났다. 목 자세는 mild bending 이상의 자세가 69.7%, 허리는 76.1%로 매우 높게 나타났다. 작업자들은 허리를 뒤로 젖히는 신전 자세는 거의 취하지 않았으며, 목의 경우에는 작업자에 따라 mild extension을 취하는 경우가 있었다. 한 작업자의 경우 목의 mild extension 자세 비율이 8.9%로 나타났다. 다리 자세의 경우에는 44.8%가 선 자세였으나, 26.7%는 선 상태에서 불균형 상태를 유지하였으며, 쪼그려 앉는 자세 비율이 21.1% 정도로 높은 편이었다.

Table 3. Mean percentage of work postures of each body part

		Neck	Trunk	Leg	Right upper arm	Left upper arm	Right lower arm	Left lower arm
Neutral		30.3	23.9	44.8	9.1	6.8	75.6	77.1
Bending	Mild	50.2	30.2	0.1	26.5	25.7	23.4	21.9
	Severe	12.5	25.5	11.4	61.8	65.5	0.0	0.0
	Extreme	0.9	16.7	-	1.2	0.9	-	-
Neutral & adjustment		0.7	2.3	26.7	0.0	0.1	-	-
Bending & adjustment	Mild	3.8	1.3	7.3	0.0	0.0	-	-
	Severe	0.6	0.1	9.7	0.5	0.0	-	-
	Extreme	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	-
N/A		1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

각 작업자들이 각 신체부위의 작업자세별로 최대로 지속한 시간의 평균을 산출하였다(Table 4). 몸통 자세에서 mild bending 자세를 가장 오래 유지하였고(56.9초), severe bending과 extreme bending 자세는 각각 37.3초와 30.9초 동안 최대로 자세를 유지한 것으로 나타났다. 하지는 standing 자세를 가장 유지했으며(110.4초), 쪼그려 앉은(severe bending) 자세는 46.6초, 불균형 쪼그려 앉은(unbalanced severe bending) 자세는 42.5초의 최대지속시간을 보였다. 목 자세에서는 mild bending 자세가 가장 긴 최대지속시간(72.9초)을 보였다. 위팔 자세에서 양팔 모두 severe bending 자세를 1분여 동안 최대로 지속한 것으로 나타났다. 전완자세는 중립자세를 유지한 시간이 가장 길었던 것으로 나타났다.

작업자들이 각 신체부위에서 자세별로 자세를 정적으로 유지한 시간을 측정하여 평균을 구하였다(Table 5). 몸통 자세에서 extreme bending 자세의 지속시간이 16.1초로 가장 길었으며, severe bending도 15.5초로 비슷한 수준을 보였다. 하지는 standing 자세의 지속시간이 44.0초로 가장 길었으나, unbalanced standing(31.2초), unbalanced severe bending (squatting) 42.5초, severe bending 22.8초 등으로 불균형 자세 혹은 쪼그려앉은 자세의 지속시간이 긴 것으로 나타났다. 목 자세에서 mild bending 자세가 22.6초로 가장 길었으며, 어깨에서는 양팔 모두 severe bending 자세의 유지시간이 19.6초, 23.6초로 가장 긴 것을 나타냈다.

Table 4. Mean (SD) maximum sustaining time of postures of each body part (s)

		Neck	Trunk	Leg	Right upper arm	Left upper arm	Right lower arm	Left lower arm
Neutral		47.0 (19.8)	39.2 (30.2)	110.4 (35.7)	13.4 (5.6)	11.7 (4.3)	104.7 (31.4)	106.4 (31.4)
Bending	Mild	72.9 (39.7)	56.9 (22.8)	0.3 (0.5)	35.7 (8.6)	32.0 (9.0)	33.4 (10.1)	30.2 (6.7)
	Severe	16.6 (6.3)	37.3 (17.4)	46.6 (61.1)	61.7 (27.1)	56.2 (29.3)	0	0
	Extreme	4.5 (6.9)	30.9 (14.9)	-	5.7 (7.1)	5.5 (9.6)	-	-
Neutral & adjustment		1.5 (2.6)	3.0 (5.1)	62.6 (76.7)	0	0.5 (0.9)	-	-
Bending & adjustment	Mild	4.7 (3.4)	6.1 (4.8)	23.7 (31.7)	0	0	-	-
	Severe	1.1 (1.3)	0.6 (0.6)	42.5 (33.6)	1.6 (2.7)	0	-	-
	Extreme	-	0	-	0	0	-	-

Table 5. Mean (SD) sustaining time of postures of each body part (s)

		Neck	Trunk	Leg	Right upper arm	Left upper arm	Right lower arm	Left lower arm
Neutral		18.1 (7.0)	11.3 (5.6)	44.0 (14.5)	3.0 (0.9)	3.7 (1.1)	28.6 (9.1)	34.2 (16.1)
Bending	Mild	22.6 (13.2)	13.9 (5.9)	0.3 (0.5)	9.8 (0.8)	10.0 (2.5)	9.5 (2.1)	10.7 (4.2)
	Severe	11.3 (4.8)	15.5 (3.6)	22.8 (23.5)	19.6 (11.3)	23.6 (13.4)	0	0
	Extreme	2.8 (3.9)	16.1 (7.7)	-	3.9 (4.0)	5.5 (9.6)	-	-
Neutral & adjustment		0.4 (0.7)	0.9 (1.5)	31.2 (36.8)	0	0.5 (0.9)	-	-
Bending & adjustment	Mild	2.1 (1.1)	4.6 (2.5)	16.2 (20.2)	0	0	-	-
	Severe	0.8 (0.9)	0.6 (0.6)	42.5 (33.6)	0.7 (1.3)	0	-	-
	Extreme	0	0	-	0	0	-	-

3.3 Analysis of wrist postures and motions

전자고니오미터를 이용하여 측정된 손목 각도를 이용하여 굴곡/신전과 편향 각도에 대해 10%, 50%, 90% APDF를 구하고, 동작 분석을 위해 굴곡/신전과 편향 동작의 각속도의 50%, 90% APDF와 평균 각속도, 그리고 움직임이 없는 정적 상태를 파악하기 위해 각속도 1°/s 미만의 비율을 구하였으며, 손목 동작의 반복성을 파악하기 위하여 굴곡/신전과 편향 동작의 MPF를 구하였다(Table 6). 손목 각도의 경우 양 손 모두 신전 자세로 치우쳤으며 편향 동작에서는 양 손 모두 특정한 방향으로 과도하게 치우치지 않고 있는 것으로 나타났다. 굴곡/신전은 왼손과 오른손 각각 -32.4°~6.3°/-30.2°~12.7°의 동작 범위를, 편향은 왼손과 오른손 각각 -14.3°~11.5°/-10.9°~15.0°의 동작 범위를 보였다. 손목 동작의 움직임은 편향보다는 굴곡/신전의 각속도가 크게 나타났고, 굴곡/신전의 경우 왼손보다는 오른손의 각속도가 더 빠른 것으로 나타났다(중위값 기준 10.1°/s 와 21.1°/s). 손목의 정적 상태의 경우 굴곡/신전과 편향 모두 왼손이 오른손보다 높은 비율을 보였다. 손목 동작의 반복성을 나타내는 MPF는 굴곡/신전은 왼손과 오른손이 각각 0.26Hz와 0.33Hz, 편향의 경우 왼손과 오른손이 각각 0.23Hz와 0.34Hz를 보여 왼손보다는 오른손의 움직임이 더 많았던 것을 알 수 있다.

Table 6. Results of analyzing wrist angles (Position: mean (SD) values of the 10th, 50th, 90th percentiles of APDF of flexion/extension and deviation angles; Movement: mean (SD) angular velocities of the 50th and 90th percentiles of APDF and mean angular velocities, and the percentage of pause time where the angular velocity is below 1°/s; and Repetitiveness: mean (SD) MPF values)

		Flexion/Extension (F+/E-)		Deviation (U+/R-)	
		Left	Right	Left	Right
Positions (°)	10th	-32.4 (14.9)	-30.2 (10.4)	-14.3 (6.1)	-10.9 (5.3)
	50th	-13.0 (14.3)	-10.7 (10.2)	0.8 (5.5)	1.5 (5.9)
	90th	6.3 (10.9)	12.7 (10.3)	11.5 (4.3)	15.0 (8.1)
Movements (°/s, %)	50th	10.1 (4.1)	21.1 (6.8)	5.9 (2.4)	13.3 (4.8)
	90th	67.3 (16.2)	89.7 (16.8)	42.2 (6.6)	55.8 (12.9)
	Mean	24.7 (6.3)	35.9 (7.4)	15.2 (3.2)	22.2 (5.7)
	Vel. below 1°/s	14.6 (6.1)	9.0 (3.2)	18.0 (5.8)	11.3 (3.6)
Repetitiveness (Hz)	MPF	0.26 (0.08)	0.33 (0.07)	0.23 (0.05)	0.34 (0.07)

4. Discussion

본 연구에서 관찰한 블루베리 수확 작업은 특별한 도구 없이 수작업으로 블루베리를 따서 바구니에 담은 작업으로 작업 내용은 매우 단순하였다. 요소작업으로 따기, 담기, 기타 작업으로 구분하였으나, 측정된 작업 시간의 82.2%는 따기 작업으로 분류되어 작업자들이 작업 시간 대부분을 팔과 손을 움직여 블루베리를 따는데 보낸 것으로 나타났다(Table 2). 관찰한 작업 시간을 바탕으로 하여 1일 작업 시간을 산출하였을 때 작업자들이 6시간 34분동안 2,073회에 걸쳐 따기 작업을 수행하는 것으로 나타났다. 더운 여름 날씨에 노지에서 작업을 해야 하는 것을 감안하면 반복성이 높은 작업의 장시간 시간이 고령의 여성 농업인에게 매우 부담이 되는 수준인 것으로 추정된다.

본 연구에서는 연속적 관찰 방식으로 REBA에 근거한 작업자세 분류체계에 따라 작업자세를 관찰, 기록 및 분석하였다. 각 신체 부위 별로 중립자세 비율이 낮은 부위는 수상완(6.8%), 좌상완(9.1%), 허리(23.9%), 목(30.3%), 다리(44.8%)의 순이었으며, 좌우 팔꿈치는 75% 이상 중립자세(팔꿈치 각도 60° 이하)를 유지한 것으로 나타났다(Table 3). 이러한 결과는 수작업으로 블루베리를 따야 하는 작업 특성과 작업 높이 범위가 매우 넓은 특성을 잘 반영하는 것이라 할 수 있다.

각 신체부위별로 비중립자세의 분포에서 severe bending이 주를 이루는 부위는 좌우 상완, 허리, 그리고 다리 자세인 것을 나타났다. 이

러한 결과는 작업자들이 가슴높이 이상에서 블루베리를 수확하는 경우에는 선자세 혹은 불균형 선자세에서 상완을 45°~90°로 든 채 작업을 많이 하고, 허리 높이 주변의 블루베리를 수확할 때는 선자세 혹은 불균형 선자세에서 허리를 60° 이상 굽혀 작업을 하고, 무릎 높이 이하의 블루베리를 수확할 때는 쪼그려 앉은 자세에서 허리를 굽혀 작업을 하고 있는 상황을 정량적으로 보인 것이라 할 수 있다. 목자세는 비중립자세 비율은 높은 편이지만, 심하지 않은 수준의 자세 비율이 상대적으로 높았다.

본 연구에서는 연속적 관찰 방식으로 작업자세를 관찰 및 기록하였기 때문에 각 자세를 유지한 지속시간을 파악하는 것이 가능하였다. 각 신체부위별 최대지속시간에 대한 작업자 4명의 평균은 다리의 선 자세와 좌우 전완의 중립 자세가 100초 이상으로 다른 자세에 비해 상대적으로 길게 같은 자세를 유지한 것으로 나타났다. 비중립자세에서 상대적으로 긴 시간동안 자세를 유지한 경우는 목의 mild bending(72.9초), 다리의 불균형 선 자세(62.6초), 우상완의 severe bending(61.7초), 허리의 mild bending(56.9초), 좌상완의 severe bending(56.2초), 다리의 쪼그려 앉은 자세(46.6초), 다리의 불균형 쪼그려 앉은 자세(42.5초), 그리고 허리의 severe bending(37.3초)의 순이었다. 작업자가 블루베리를 수확하기 위해 불균형 자세로 서거나 쪼그려 앉는 등의 비중립적 하지 자세를 취한 상태에서 정적으로 유지해야 하는 작업의 특성을 보이는 결과라 할 수 있다. 또한, 블루베리를 따기 위해 팔을 어깨 높이로 든 상태에서 계속 작업을 진행하는 것을 나타내는 결과라 할 수 있다.

각 신체부위별 자세 유지시간의 평균도 이와 비슷한 결과를 보이고 있다. 자세 유지 시간이 상대적으로 긴 비중립적 자세는 다리의 불균형 쪼그려 앉은 자세(42.5초), 다리의 불균형 선 자세(31.2초), 좌 상완 severe bending(23.6초), 다리의 쪼그려 앉은 자세(22.8초), 목 mild bending(22.6초), 우 상완 severe bending(19.6초), 허리 extreme bending(16.1초), 허리 severe bending(15.5초)의 순이었다. 이 중 좌우 상완의 severe bending, 다리의 불균형 선 자세와 쪼그려 앉은 자세, 그리고 허리의 severe and extreme bending 자세는 전체적으로 차지하는 비율도 높은 비중립적 자세이다. 즉, 블루베리 수확작업자들은 팔을 어깨 높이로 올리는 자세, 불균형적으로 서거나 쪼그려 앉은 자세, 허리를 20° 이상 굽히는 자세를 많이 취할 뿐만 아니라, 이런 자세를 정적으로 유지하는 시간도 상대적으로 긴 것으로 나타났다.

손목의 자세와 동작은 실제적으로 작업 영상 관찰을 통해 분석하는데 어려움이 있다. 본 연구에서는 전자고니어미터를 이용하여 작업자들의 좌우 손목의 굴곡/신전 및 편향 각도를 연속적으로 측정하여 분석하였다(Table 6). 굴곡/신전 각도의 중위값은 좌측 -13.0°, 우측 -10.7°로 블루베리 수확작업 중에 주로 손목을 젖힌 자세를 많이 취하는 것으로 나타났으며, 좌우 손목의 신전 각도는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 척측/요측 편향 각도의 범위는 좌측 -14.3° ~ 11.5°, 우측 -10.9° ~ 15.0°로 역시 좌우간에 큰 차이를 보이지 않고 한쪽 방향으로 치우치는 경향도 보이지 않았다. 굴곡/신전 자세가 45° 이내의 범위에 있으며, 편향 각도도 척측 방향 24° 이내, 요측 방향 15° 이내에 있는 것으로 나타나 블루베리 수확작업의 손목 각도 범위는 손목 근육에 큰 부담을 주는 수준은 아닌 것으로 평가된다(Stal et al., 1999; Chen et al., 2010). 다만, 일반적으로 요측 편향의 운동 범위가 척측 편향에 비해 적은 점을 감안할 때, 블루베리 수확작업은 요측 편향이 상대적으로 큰 특성이 있다고 할 수 있다. 포도 수확작업의 경우에는 가위를 사용하면서 신전 자세와 척측 편향 자세로 치우치는 경향이 있었는데, 블루베리 수확작업은 가위 등의 도구를 사용하지 않아 척측 편향으로 치우치지는 않고, 따기 동작과 가지 잡기 동작 등에서 신전 자세가 주로 나타났을 것으로 보인다(Kim and Lee, 2017).

손목 동작의 각속도는 손목의 근골격계질환 유발의 유해요인으로서 굴곡 동작의 각속도가 50°/s 이상이 되면 유해도가 증가하는 것으로 보고되고 있다(Malchaire et al., 1997). 본 연구에서 측정된 블루베리 손목의 굴곡/신전과 편향 동작의 평균 각속도는 모두 50°/s 이하를 보이고 있어 작업자에게 큰 부담을 주지는 않는 것으로 평가된다. 오른 손목의 굴곡 각속도의 90% APDF 값은 89.7°/s, 편향 각속도의 90% APDF 값은 55.8°/s로 왼손에 비해 상대적으로 빠른 동작을 하는 것으로 나타났으며, 기존 연구의 치과의사의 손목 동작보다는 빠른 것으로 나타났다(Chen et al., 2010).

손목의 정적 상태는 9.0~18.0% 수준으로 높지 않았으며, 오른손에 비해 왼손이 높은 비율을 보이고 있어, 오른손으로 블루베리를 수확하는 작업 특성을 보인 결과라 할 수 있다. 이러한 결과는 손목 동작의 반복성을 나타내는 MPF에서도 나타나고 있다. 오른손의 MPF는 0.33~0.34Hz인데 비해, 왼손의 MPF는 0.23~0.26Hz로 더 낮은 값을 보이고 있다. 손목 동작의 반복성은 기존의 다른 연구와 비교하였을 때, 치과 의사보다는 반복 빈도가 높았으나 미용사, 여류 처리, 가공류 가공, 착유 작업 등에 비해서는 낮은 수준의 반복성을 보이는 것으로 나타났다(Chen et al., 2010).

본 연구는 블루베리 농장 현장에서 실제로 작업을 수행하는 작업자를 대상으로 작업자세를 측정하는 연구를 하였다. 실험실에서 모의 작업 환경을 구축하고 하는 연구가 아니라서 실제 작업 특성을 조사하는 장점이 있으나, 현장에서 작업에 방해가 되지 않으면서 진행하다 보니 참여자 섭외에 제한이 있는 어려움이 있었다. 본 연구에 참여한 4명의 작업자로부터 측정된 자료는 적은 표본수로 인해서 통계 검정을 수행하기에는 부족하였지만, 블루베리 수확작업의 작업 자세 특성을 정량적으로 파악하여 이해할 수 있는 자료를 구축한 점에서 의의가 있다고 생각된다.

본 연구에서는 작업장면을 연속적으로 관찰하여 작업자세 분석을 하였다. 전자고니어미터나 IMU를 이용한 동작분석기 등과 같은 장비를 활용하면 정밀한 작업자세 분석이 가능하겠지만, 작업 현장에서 실제로 그러한 장비를 활용하기 어려운 점을 감안하며, 본 연구에서 활용한 연속적 관찰에 의한 작업자세 분석은 해당 작업의 작업자세 특성을 파악하는데 있어 그 정확도와 신뢰도가 상당히 높다고 할 수 있다. 특히, 선택적으로 혹은 일정한 시간 간격으로 표본을 추출하여 작업자세를 분석하는 것에 비하면 결과에 대한 신뢰도가 매우 높다는 점에서 본 연구의 방법론이 의미를 갖는다고 평가된다.

5. Conclusion

본 연구에서는 블루베리 수확작업의 인력 반복 작업의 작업자세를 연속적 관찰 방식과 전자고니어미터를 이용한 손목 각도 측정 방식을 바탕으로 분석 및 평가하였다. 블루베리 수확작업은 별도의 도구 없이 수작업으로 이루어지는 단순한 작업이지만, 허리, 다리, 상지에서 다양한 비중립적 자세가 발생하고, 더운 시기에 장시간 노지에서 작업을 수행하여야 해 고령의 여성 작업자에게 부담이 되는 작업으로 평가된다. 작업자들이 8시간 작업 중 6시간 30분여 동안 상지를 반복해서 움직이는 열매 따기 작업을 수행해 상지 반복작업에 장시간 노출되는 것으로 나타났다. 주된 작업자세는 팔을 가슴 높이 이상 올리는 자세 (62.3%와 65.5%), 허리를 20° 이상 굽히는 자세(42.3%), 불균형으로 선자세 혹은 쪼그려 앉은 자세(48.0%)로서 팔꿈치를 제외한 대부분의 신체에서 부담이 되는 자세를 많이 취하는 것으로 나타났고, 이러한 자세들은 자세지속시간도 평균 20초 이상이 되는 것으로 나타났다. 손목 자세는 굴곡보다는 신전 자세로 치우친 특성을 보였으며, 편향 자세는 전반적으로 척추와 요추의 균형이 유지되었으나 운동 범위를 고려한 상대적 각도 변위의 정도는 요추 방향이 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 자세와 자세지속시간에 대한 분석 결과를 바탕으로 블루베리 수확작업의 작업자세 특성을 정량적으로 이해할 수 있으며, 비록 무거운 물건을 취급하거나 과도하게 근력을 사용하지는 않더라도 블루베리 수확작업이 작업자에게 부담이 되는 작업으로 평가된다. 다만, 전자 고니어미터를 이용하여 분석한 손목의 자세와 동작은 기존 연구와 비교하였을 때, 높은 수준의 작업부하 특성은 보이지 않는 것으로 나타났다.

본 연구에서 활용한 연속적 작업자세 관찰 및 분석 방법론은 객관적이고 정량적 분석 방법으로서 타당성이 있는 것으로 보인다. 장비를 활용하지 않고 영상 촬영과 관찰 방식을 이용해 현장의 작업분석에 적용하기에 실용적인 장점을 유지하면서도 기존의 표본 추출 방식에 의한 관찰적 평가 방법에 비해 작업자세 분석의 정밀성과 신뢰성을 높인 것으로 평가된다. 그러나, 이번 연구에서는 REBA에 기반한 작업자세 분류체계에 따라 작업자세를 분류하고 분석하였으나, 정작 REBA와 같은 작업부하 평가는 진행하지 못한 한계를 가지고 있다. 이를 개선하기 위해서는 기존의 작업자세 분석 프로그램에 작업부하 평가 기능을 반영할 필요성이 있다. 향후에는 이러한 점을 개선 보완하고, 더 많은 피실험자를 대상으로 작업분석을 실시하여 인간공학적 작업부하 평가 및 작업개선 연구를 실시할 필요성이 있다고 보여진다.

Acknowledgement

본 연구는 한경대학교 2017년도 학술연구조성비의 지원에 의한 것임.

References

Chen, H.C., Chang, C.M., Liu, Y.P. and Chen, C.Y., Ergonomic risk factors for the wrists of hairdressers, *Applied Ergonomics*, 41, 98-105, 2010.

Estill, F.C. and Tanaka, S., Ergonomic Considerations of Manually Harvesting Maine Wild Blueberries, *Journal of Agricultural Safety*

and Health, 4(1), 43-57, 1998.

Hansson, G.Å., Balogh, I., Ohlsson, K., Rylander, L. and Skerfving, S., Goniometer measurement and computer analysis of wrist angles and movements applied to occupational repetitive work, *J. Electromyography and Kinesiology*, 6, 23-35, 1996.

Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid entire body assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, 31, 201-205, 2000.

Jin, S.E., McCulloch, R. and Mirka, G.A., Biomechanical evaluation of postures assumed when harvesting from bush crops, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39, 347-352, 2009.

Kang, M.Y., Lee, M.J., Chung, H., Shin, D.H., Youn, K.W., Im, S.H., Chae, H.S. and Lee, K.S., Musculoskeletal disorders and agricultural risk factors among Korean farmers, *Journal of Agromedicine*, 21(4), 353-363, 2016.

Kim, E.S., Freivalds, A., Takeda, F. and Li, C.Y., Ergonomic Evaluation of Current Advancements in Blueberry Harvesting, *Journal of Agronomy*, 266(8), 1-17, 2018.

Kim, J. and Lee, I., The Effects of work Characteristics of Grapes-harvesting Tasks on the Wrist and Elbow Angles, *Journal of the Ergonomics society of Korea*, 36(5), 589-599, 2017.

Kim, M.H., Work-related musculoskeletal symptoms among agricultural workers in the rural community, *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, 5(2), 71-79, 2015.

Ko, S.B., Work-related diseases and injury of Korean farmer: causes, epidemiology, and countermeasure, *Journal of the Korean Medical Association*, 55(11), 1044-1045, 2012.

Lee, I. and Kim, J., 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.

Lee, Y.H., Lee, J.H., Lee, K.S., Kim, K.R. and Lee, S.J., Ergonomic risk factors related to musculoskeletal symptoms in the vineyard workers, *Journal of Korean Society of Occupational and Environ Hygiene*, 18(2), 122-132, 2008.

Malchaire, J.B., Cock, N.A., Piette, A., Leao, R.D., Lara, M. and Amaral, F., Relationship between work constraints and the development of musculoskeletal disorders of the wrist: a prospective study, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19, 471-482, 1997.

Merino, G., Silva, L.D., Mattos, D., Guimaraes, B. and Merino, E., Ergonomic evaluation of the musculoskeletal risks in a banana harvesting activity through qualitative and quantitative measures, with emphasis on motion capture (Xsens) and EMG, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 69, 80-89, 2019.

NIHHS (National Institute of Horticultural and Herbal Science), <http://www.nihhs.go.kr/>, 2019.

Osborne, A., Blake, C., Fullen, B.M., Meredith, D., Phelan, J., McNamara, J. and Cunningham, C., Prevalence of musculoskeletal disorders among farmers: a systematic review, *American Journal of Industrial Medicine*, 55, 143-158, 2012.

Park, H.S., Lee, Y.K., Kim, H. and Lee, K., Suggestion of a Method to Assess the Risk Level of Agricultural Works Considering Work Posture and Working Time, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 36(5), 601-607, 2017.

Stal, M., Hasson, G.A. and Moritz, U., Wrist Positions and Movements as Possible Risk Factors during Machine Milking, *Applied Ergonomics*, 30(6), 527-533, 1999.

Statistics Korea, <http://kostat.go.kr>, 2019.

Sur, Y.S., Cheon, Y.H., Kim, H.O., Kim, R.B., Park, K.S., Yang, H.S., Park, H.B., Na, J.B., Yoon, C.H. and Lee, S.I., Prevalence and risk factors of upper extremity musculoskeletal diseases among farmers in Gyeongnam, *Journal of Rheumatic Diseases*, 22(6), 366-373, 2015.

Author listings

Inseok Lee: lis@hknu.ac.kr

Highest degree: Ph.D, Department of Industrial Engineering, POSTECH

Position title: Professor, Department of Civil, Safety and Environmental Engineering and Research Center for Applied Human Sciences, Hankyong National University

Areas of interest: Physical Ergonomics, Workload Evaluation, Agricultural Ergonomics, Occupational Safety and Health, Accessible Design

Yonghwi Kim: dydgnl2345@naver.com

Highest degree: Undergraduate student, Department of Civil, Safety and Environmental Engineering, Hankyong National University

Position title: Undergraduate student, Department of Civil, Safety and Environmental Engineering, Hankyong National University

Areas of interest: Safety Engineering, Physical Ergonomics