바이오시스템공학 (*J. of Biosystems Eng.*)
Vol. 33, No. 3, pp. 157~166 (2008. 6)

시설참외의 수확운반차량에 대한 작업분석 및 인간공학적 설계에 관한 연구

이상식 김윤희 최안렬 문정환

A Study on Ergonomics Design of Wheelbarrow for Melon Farm on Protected Horticulture

S. S. Lee Y. H. Kim A. R. Choi J. H. Mun

Abstract

Protected horticulture is labor-intensive. It necessitates great amount of labor in many tasks including grafting, pollination and harvesting. Particularly, carrying crops involves the most intensive labor which leads to a high risk of musculoskeletal disorder. Thus, this study aims at developing an ergonomic vehicle to reduce this intensity of labor and ergonomic evaluation by applying the newly developed vehicles to REBA. 5 healthy male subjects with no records of any musculoskeletal disorder were participated in this study. The experimental units were divided into three categories: lifting, lowering and pushing tasks. The results showed that the developed vehicle received less loads in group B (arms and wrists) than in group A (trunk, neck and legs). Especially, the developed vehicle scored 1.0~4.4 in group C on REBA while the conventional wheelbarrow got 3.0~7.6, regardless of working postures. In conclusion, the developed ergonomic vehicle provided less loads for human bodies compared to the conventional one.

Keywords : Wheelbarrow, Melon, Ergonomics, REBA, Vehicle

1. 서 론

시설참외작업은 노동집약적이며 접목, 정식, 수정, 순자르기, 수확하기 등의 작업으로 분류된다. 이러한 대부분의 작업체계에서 가장 많은 동작을 하는 것이 운반 작업이고, 가장 노동 강도가 필요한 작업이다(김 등, 2006).

시설참외 재배는 대부분이 비닐하우스 내부에서 작업을 수행한다. 시설참외 작업은 크게 7가지, 세부 13가지로 나누어 분석한 결과, 참외 수확 후 실시하는 수확운반 작업에서 가장 높은 위험도를 보였다(임 등, 2006). 또한 국내에서 실시한 농작업 기계화율 조사에서 참외, 딸기, 방울토마토 시설재배에서 기계화율이 낮게 나타났기 때문에(김 등, 2006), 시설재배 농업인의 작업 피로를 감소시키는 것이 매우 중요하다(Kwon et al., 2002a).

대부분의 시설작업 다량의 수확물은 바구니, 일반용기 혹은 이동대차를 이용하여 운반 작업을 하고, 농업 시설의 규모 확대로 인하여 운반 작업의 보행 길이가 길어짐에 따라 노동강도가 크게 된다(Kwon et al., 2002b).

현재 시설참외 재배 작업에서 사용 중인 운반차량은 외발식 수확운반차, 엔진 및 레일식 수확운반차, 전동식 수확운반차 3가지이다(임 등, 2006).

외발식 수확운반차는 바퀴가 중앙에 하나 달려서 작업자가

This study was carried out with the support of "On-Site Cooperative Agriculture Research Project (Project No. 20070201080042, 105041-3)", RDA, Republic of Korea. The article was submitted for publication on 2008-04-10, reviewed on 2008-05-16, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2008-06-02. The authors are Sang Sik Lee, Research Associate Professor, Yun Hee Kim, Researcher, Ahn Ryul Choi, Researcher, and Joung Hwan Mun, Associate Professor, Dept. of Biomechatronics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. Corresponding author: J. H. Mun, Associate Professor, Dept. of Biomechatronics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea; Tel: +82-31-299-4820; Fax: +82-31-299-4825; E-mail: <jmun@skku.ac.kr>.

수동으로 작동하는 수확운반차량으로 가격이 저렴하고 고랑이 좁은 시설참외에 적합하며 가장 많이 사용하는 수확운반차량이다. 그러나 이동작업에서 균형유지가 어렵고 여성과 노약자가 이용하기 어려운 단점이 있다.

레일식 수확운반차는 외발식 수확운반차의 단점을 보완한 것으로 시설 천장에 설치한 레일을 따라 수동으로 작동하는 운반차량이다. 외발식 수확운반차보다 비용이 비싸고 천장에 별도의 시설이 필요하며 다른 고랑 및 시설로의 이동 및 작업이 불편한 단점이 있다.

엔진 및 전동식 수확운반차는 기존(Kojima, 1980; 이, 1997; Kwon et al., 2001)의 많은 연구자들에 의해 시설재배의 수확용 운반차량으로 개발되었다. 그러나 기존의 시설참외의 기반 구조, 농업인의 경제적 구입 부담 및 신속한 이동이 불편한 문제로 거의 사용하지 않고 있다.

시설참외 재배의 농업인의 경제적 부담, 작업 편의성 및 안전성을 높여주기 위하여 본 연구에서는 외발식 수확운반차를 응용한 인간공학적 제품을 개발하고자 한다.

시설참외 운반 작업은 고랑이 좁은 비닐하우스 시설 내에서 주로 이루어지고 여러 개의 참외를 싣게 되어 무거운 하중을 옮길 필요가 있으므로, 수확운반차는 이러한 작업환경에 알맞게 설계할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 시설참외의 수확운반 작업에 사용하는 외발식 수확운반차에 대한 작업분석을 통하여, 기존 사용빈도가 가장 많은 외발식 수확운반차의 인간공학적 응용을 통한 설계 및 제품을 제작하여 작업 자세에 대한 성능실험을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. 수확운반차 개발

1) 개발 프로세스

수확운반차의 개발은 연구개발 단계에서 고객 요구를 반영하여 제품의 품질, 신뢰성 등을 향상시키기 위한 방법(David et al., 2002)으로서, 근래에 제품 개발에 많이 사용하고 있는 DFSS (Design for Six Sigma)를 기반으로 수행하였다. 본 연구에서 적용한 개발프로세스는 그림 1과 같다.

연구 정의(Project Define) 단계에서는 연구주제를 선정하고 구체적인 계획을 수립하는 단계로 서론의 연구배경에 해당되는 부분이다. 사용자 요구(User Needs) 및 목표설정(Goal Define) 단계에서는 제품 사용자의 요구조건을 조사하고 현재 사용하는 제품의 장·단점을 파악하고, 이를 통하여 개발목표를 설정한다. 설계(Design) 단계에서 아이디어 스케치를 통하여 몇 가지 설계안을 도출하고 이를 바탕으로 상세 디자인을 수행한다. 그리고 적합한 디자인을 선정한 뒤 실제 제품을 제작(Manufacture)하고, 이를 검증(Verify)함으로써 제품 개발을 수행한다.

2) 수확운반차 이용현황 조사

국내 시설참외 재배작업에서 사용되는 운반차 이용현황 조사를 위하여 시설참외 재배면적의 79.5%를 차지하는 경북지역(농림부, 2005)중 최대 주산지 경북 성주지역에 대한 방문 및 설문조사를 수행하였다. 표 1은 성주군의 1개 읍, 6개 면의 참외재배 산업 담당자와 성주군 농업기술센터 담당자를

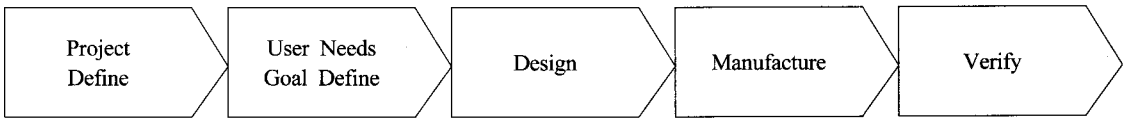

Fig. 1 DFSS process.

Table 1 Situation of carriage vehicle utilization

Administrative district	Farmhouse	Cultivation area (ha)	Ratio (%)	
			Wheelbarrow	Rail-barrow
Seongju town	906	679.4	95	5
Sunnam-myeon	987	742.8	50	50
Chojeon-myeon	935	606.0	80	20
Wolhang-myeon	630	440.0	90	10
Yongam-myeon	400	400.0	90	10
Daega-myeon	481	314.0	90	10
Geumsu-myeon	26	12.6	100	0
Seongju-gun	5,260	3883.0	97~98	2~3

Table 2 Results of questionnaire about wheelbarrow

Items	Seongju town (n=20)		Sunnam-myeon (n=25)	
	male	female	male	female
Age	48.9	51.3	46	63.5
Career period (year)	24.4	25.4	22.3	40
Musculoskeletal disorder (age)	45.3	41	36.7	45
Replacement period (number/year)	4.6	4.4	9.4	3.0
Demerit of wheelbarrow	- low-back pain (68.9%), wrist pain (53.5%)			

통하여 조사한 결과이다.

성주군에서 사용하는 수확운반 차량은 외발식 운반차와 레일식 운반차이었으며, 그 중에서 외발식 운반차의 사용 비율이 월등히 높게 나타났다.

외발식 운반차는 저렴한 가격과 비닐하우스 내의 좁은 고랑에서 조작이 편하다는 장점을 가지고 있지만, 바퀴가 1개이기 때문에 균형을 잡기 어렵고 미는 작업을 하기 위하여 손잡이를 올리는 작업이 부가적으로 필요하기 때문에 인체 상지의 통증을 동반하는 단점이 있다.

레일식 운반차는 시설참외 비닐하우스 내에서는 가장 편하게 사용할 수 있지만, 외발식 운반차보다 비싼 가격이 경제적인 부담으로 작용하고 있다. 오래된 비닐하우스 또는 철근이 가는 비닐하우스의 경우 하우스가 내려앉거나 철근이 휘는 등의 문제가 발생하기 때문에 레일식 운반차를 사용하기 위하여 비닐하우스 시설에 대한 추가적인 투자가 필요하다. 그리고 시설참외를 재배하는 대부분의 지역이 경지정리가 잘 되어있지 않은 지역이고, 비닐하우스 외부에서 레일이 아닌 다른 운반차량을 추가적으로 사용하게 되어 효용성이 떨어진다. 그러므로 레일식 운반차는 편리하지만, 경제적인 부담이 가중되기 때문에 실질적인 사용 비율이 높지 않은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 알맞은 경제적·환경적인 여건을 갖춘 소수의 사람이 사용하는 레일식 운반차가 아닌, 여건을 갖추지 못한 다수의 사람이 사용하는 외발식 운반차를 선택하여 농업인을 위한 인간공학형으로 응용 및 개발하고자 한다.

3) 사용자 요구 분석 및 목표 설정

사용자의 요구 분석은 경북 성주지역 성주면과 선남면의 시설참외 농업인 45명을 대상으로 외발식 수확운반차의 문제점에 대한 설문조사를 수행한 결과, 허리 고통(68.9%)과 손목의 통증(53.3%)을 호소하는 농업인이 가장 많은 것으로 표 2와 같이 나타났다. 그리고 김 등(2006)이 외발식 수확운반차를 이용한 운반 작업 중 힘든 부위에 대한 조사를 성주군 시설참외 농업인 94명을 대상으로 수행한 결과, 허리(57.4%), 손목(42.6%), 어깨(31.9%), 팔(25.5%) 순으로 나타났다. 그리므로 수확운반 작업에서 가장 문제가 되는 부위는 인체의 전신에 해당된다. 따라서 개발될 수확운반차량의 주요 설계목표는 인체의 전신에 발생한 통증 감소로 선정하였다.

4) 개발 방향설정 및 설계

가) 작업분석에 따른 제품 개발 방향설정

작업분석에 따른 제품 개발 방향설정을 위하여 외발식 수확운반차를 그림 2와 같이 4가지 부분(적재부, 바퀴, 브레이크, 손잡이)으로 세분화하였다. 그리고 설계 단계에서는 기존의 제품에서 설계에 영향을 미치는 요소를 선정하고, 이를 개선 및 응용하여 인간공학적으로 제품을 설계하였다.

시설참외 재배작업에서 외발식 수확운반차를 사용하는 작업에 대하여 일정 단위로 분할한 요소작업으로 나누었다. 시설참외 재배작업은 크게 보행을 포함하는 동적 작업과 정적 작업으로 나누어지고, 동적작업은 비닐하우스 내부와 외부에서의 들기·내리기, 밀기, 당기기 동작으로 나누어지고, 정적 작업은 들기·내리기 동작으로 구분된다.

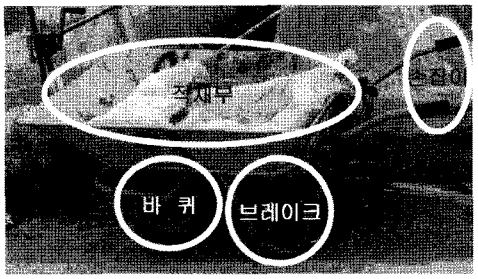

Fig. 2 Wheelbarrow for melon farm.

그리고 개발할 요소를 바탕으로 아이디어 형태 차트(Idea Morphological Chart)를 표 3과 같이 작성한다. 형태 차트의 첫 번째 열에는 작업분석별 요소작업이 나열되고, 첫 번째 행에는 수확운반 차량 개발 부품이 나열된다. 그리고 각 칸에는 특정 작업을 개선할 수 있는 수확운반 차량 부품 부분에 대한 아이디어가 들어간다.

Table 3 Idea morphological chart

Task analysis			Development components			
			handle	wheel	carrying part	brake
Movement	Inside	pushing				
		pulling				
		lifting· lowering				
	Outside	pushing				
		pulling				
		lifting· lowering				
stop		lifting· lowering				

나) 시스템 설계

아이디어 형태 차트를 작성함으로써 특정 작업에 대한 운반차 부품의 몇 가지 해결안을 얻었다. 설계 최적화에서는 특정 경우에 대한 해결안을 조합함으로써 시스템 설계를 실시한다.

손잡이의 경우 횡간 손잡이를 제작함으로써 손목의 꺾임을 감소시켜 통증을 감소시킬 것으로 예상되었다. 그리고 작업자의 신장의 차이를 고려하기 위하여 손잡이의 높·낮이를 조절할 수 있는 방법이 제시되었다. 횡간 손잡이로 인하여 작업자가 참외를 적재할 때 방해가 되는 것을 방지하기 위하여 회전하는 손잡이가 제시되었지만, 무거운 참외를 나르는 경우 내구성이 떨어질 위험이 높았다.

미는 작업(pushing task) 동안 발생하는 보행의 불균형으로 인한 팔의 통증과 미는 작업 직전에 발생하는 드는 작업(lifting task)으로 인한 불편함을 감소시키기 위하여 보조바퀴를 부착하는 방안이 제시되었다. 고랑 사이에서 운행이 가능하도록 브레이크 위치에 폭이 좁은 2개의 보조바퀴를 부착함으로써 불균형 현상을 줄여줄 수 있다. 그리고 비닐하우스 외부의 경사지나 노면이 고르지 않은 경우 바퀴를 위로 올리는 메커니즘을 이용하여 기존의 수확운반차와 동일한 브레이크를 이용할 수가 있다. 보조바퀴 2개를 부착하고, 폭을 조절할 수 있는 방법도 제시되었다. 볼트와 너트를 이용하여 폭을 조절하기 때문에 적재부에 참외가 있을 경우 수확운반차의 무게가 무거워 조절이 어려워지고 참외를 쏟을 가능성이 높다는 단점이 있다. 그리고 보조바퀴로 폭이 넓은 바퀴 하나를 부착하는 방법도 제시되었다. 그러나 일반적으로 통용되는 설계 기준의 바퀴가 아니기 때문에 제작비용의 증가가 예상되었다.

적재부는 플라스틱 박스를 싣고 참외 운반을 하는 작업 방법을 기준으로 설계안을 제시하였다. 플라스틱 박스가 고정되지 않아 불안정한 상태에서 운반 작업 하던 것을 개선하기 위하여 수확운반차 크기에 맞추어 틀을 제작하는 설계안으로써 운반차량 무게의 증가를 줄이기 위하여 프레임의 추가를 줄이고, 박스를 이용하지 않을 때는 다른 용도로 이용이 가능하도록 적재부 중간 부분에 횡간 손잡이 형의 프레임을 추가하는 설계안을 제시하였다. 그리고 적재부 중간 부분에 프레임을 올렸다가 내렸다가 할 수 있도록 조절하는 방법이 제시되었으나 내구성이 떨어질 가능성이 높았다.

브레이크의 경우 바퀴의 설계안에서 제시되었던 방법과 연계되어 바퀴를 올림으로써 브레이크 작동을 할 수 있는 설계안이 제시되었다. 비교적 간단한 메커니즘을 적용함으로써 내구성을 유지하고 제작비의 증가를 감소시킬 수 있는 방법으로 예상되었다. 그 외에는 자전거에 사용하는 브레이크, 자

전거 지지대, 뒷바퀴를 캐스터로 사용할 경우 캐스터에 부착되어 있는 브레이크를 이용하는 방법이 제시되었으나 제작비의 증가와 내구성이 상대적으로 약한 문제가 예상되었다.

그러므로 본 연구에서는 최종적으로 높이 조절이 가능한 횡간 손잡이, 위·아래로 조작이 가능한 2개의 보조바퀴 및 브레이크, 탈부착이 가능한 프레임 및 적재부 등을 설계안으로 선택하였고, 최적 설계안의 개략도는 그림 3과 같다.

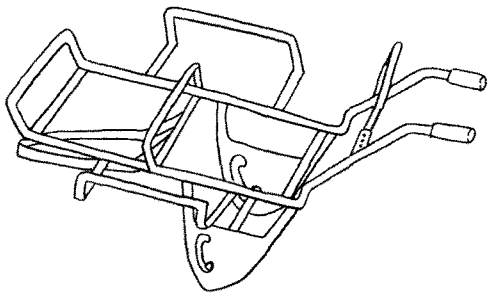

Fig. 3 Schematic diagram of ergonomics wheelbarrow.

5) 수확운반차 제작

가) 손잡이

손잡이의 경우 손목의 꺾임으로 인하여 발생하는 손목의 통증을 예방하기 위하여 횡간 손잡이를 그림 4와 같이 개발하였다. 횡간 손잡이는 작업자의 다양한 신장을 고려하기 위하여 볼트와 너트로 조작함으로써 높·낮이를 조절할 수 있게 제작되었다. 볼트와 너트를 이용하는 메커니즘은 높이 조절을 빈번하게 할 경우 불편함을 도모할 수 있지만, 시설참외 운반 시에는 개인이 주로 사용하기 때문에 한 번의 조작을 통하여 꾸준히 사용하는 것이 가능하고 하중이 무거운 참외를 운반 하더라도 이를 지탱할 수 있어 적당한 메커니즘으로 사료된다. 그리고 운반차량을 앞에서 당기는 경우 횡간 손잡이의 이용이 불편함을 가중시킬 가능성이 높아 기존 수확운반차의 손잡이 방식을 유지하였다. 그러나 현재 외발식 수확운반차의 낮은 손잡이로 인하여 허리에 가해지는 부하가 증가하므로 기존 손잡이보다 높이를 높였다.

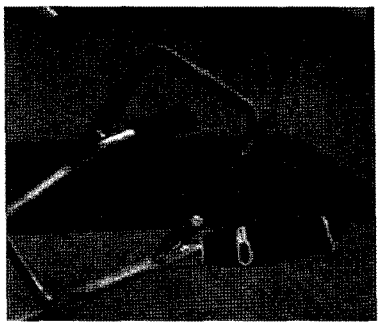

Fig. 4 Handle of ergonomics wheelbarrow.

나) 바퀴

바퀴의 경우 외발식 수확운반차에서 바퀴가 하나이기 때문에 발생하는 들어 올리고 내리는 작업과 미는 작업에서 발생하는 불균형 현상을 감소시키기 위하여 운반차량의 후위에 추가로 바퀴를 그림 5와 같이 부착하였다. 뒷바퀴는 2개를 부착함으로써 비닐하우스 외부에서 미는 작업이 용이해졌으며 바퀴 사이의 폭을 좁게 설계하여 비닐하우스 내부에서도 사용이 가능하도록 제작하였다. 그리고 공기 주입식 바퀴를 사용함으로써 공기가 충격을 흡수하여 거친 노면에서 사용의 편리성을 높였다.

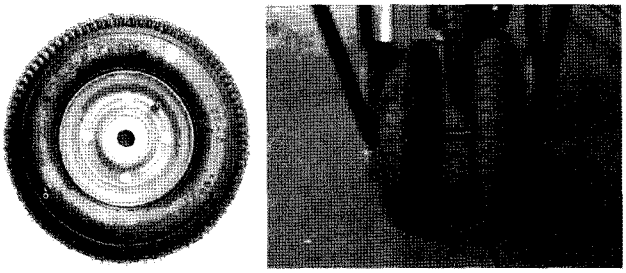

Fig. 5 Wheel of ergonomics wheelbarrow.

다) 브레이크

뒷바퀴를 부착함으로써 브레이크에 대한 고려가 필요했다. 바퀴가 3개이기 때문에 평지에서 균형을 잡는 것은 가능하지만, 경사지 또는 농경지 특성 상 비포장 노면에서 사용하다가 세워둘 경우에 이용할 브레이크를 개발하였다. 브레이크는 뒷바퀴를 올리고 내리는 메커니즘을 이용하여 바퀴를 올릴 경우 기존 수확운반차와 동일한 브레이크를 사용할 수 있도록 그림 6과 같이 개발하였다. 시작기에 적용된 메커니즘은 간단하게 손잡이를 들어 올림으로써 뒷바퀴가 아래로 내려와 C자 모양 홈의 끝에 걸려 바퀴가 3개인 운반차량이 되고, 한 발로 뒷바퀴를 살짝 앞으로 밀어줌으로써 브레이크가 내려오는 방법이다. 이 방법은 간단하게 제작이 가능하여 제작비용을 줄일 수 있고, 비교적 사용 방법이 쉬운 장점을 가진다. 그

(a) Left side (b) Right side

Fig. 6 Brake system of ergonomics wheelbarrow.

리고 메커니즘이 간단하여 야외에서 주로 사용하여 비, 흙, 먼지 등에 노출되어도 고장이 적을 것으로 예상된다

라) 적재부

적재부는 기존의 수확운반차를 이용한 시설참외 재배작업에서 가장 많이 이용하는 플라스틱 바구니를 기준으로 개발하였다. 플라스틱 바구니를 최대 2개까지 싣는 것이 가능하도록 적재부 프레임 길이를 늘였고 프레임의 중간부분을 기준으로 플라스틱 바구니의 중간지점까지 바구니를 고정시켜줄 프레임을 그림 7과 같이 추가하였다. 그리고 바구니 2개가 서로 밀리지 않도록 바구니 사이에 프레임을 하나 추가시킴으로써 바구니를 하나만 이용할 때도 고정이 가능해졌다. 그리고 중간 프레임은 탈부착이 가능하여 참외운반 이외의 용도에도 사용이 가능하게 제작하였다.

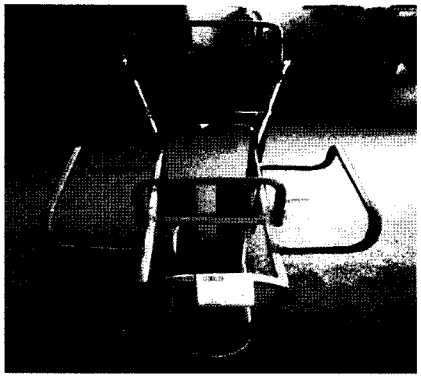

Fig. 7 Landing part of ergonomics wheelbarrow.

본 연구에서 개발한 시설참외용 수확운반차량의 시작기를 그림 8에서는 보여주고 있고, 주요 제원은 표 4와 같다.

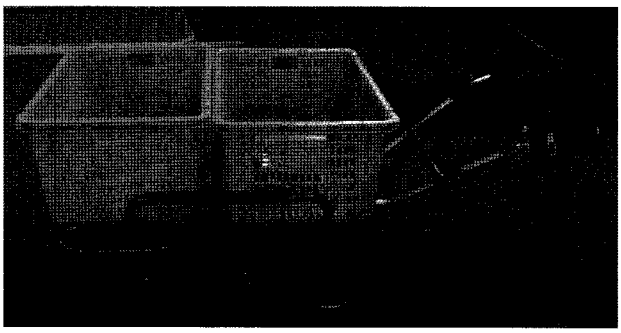

Fig. 8 Proto-type of ergonomics wheelbarrow.

나. 실험방법

1) 작업 자세 평가방법

본 연구에서는 시설참외 재배 기술과 관련한 수확운반차의 작업 자세 평가를 통하여 개발한 수확운반차를 평가하고자 한다. 수확운반차 작업자세의 평가를 위해서는 각 관절의 각도 값이 필요하므로, 기존의 실험장치(Koo et al., 2006)를 이용하여 인체의 기구학적 데이터를 추출하였다. 추출한 기구학적 데이터 중에서 각도 값을 기반으로 인간공학에서 일반적으로 근골격계질환 발병 요인 중 하나인 자세평가(MacLeod, 1999)에 사용하는 REBA(Rapid Entire Body Assessment) 분석을 수행하였다. REBA는 Hignett와 McAtamney(2000)에 의해 개발된 방법으로 한국산업안전공단에서 근골격계질환 위험인자를 조사하기 위한 도구로 권고하고 있다.

Table 4 Specification of ergonomics wheelbarrow

Items		Specifications
Element	Tire	pneumatic form
	Brake	kinematic form
	Frame	pipe
Body Size	Length	1530 mm
	Width	700 mm
	Height	840 mm
	Shaft distance of tire	520 mm
	Ground clearance	700 mm
Weight		250 N
Tire	Front	KAIR2-13
	Rear	KAIR2-16-1

시설참외의 수확운반 작업의 작업 자세를 검증하기 위하여, 실험 신체부위를 A그룹과 B그룹으로 나누어서 5명을 대상으로 3회 실시하였다. 전체 실험은 적재하중 0 N, 400 N, 800 N으로 각 3회씩 반복하였고, 한번 작업 후 생리학적 상태를 안정시키기 위하여 피실험자는 30분씩 휴식을 취한다.

개발된 수확물 운반차량에서는 들어올리기·내리기, 밀기 및 당기기 작업으로 이루어진 동작이 사용된다. 그러나 운반수확작업에서 당기기 작업은 거의 이루어지지 않은 동작이므로, 본 연구에서는 인체를 이용한 운반수확차의 들어올리기·내리기 및 밀기 작업에 대한 실험 및 분석을 수행할 것이다.

2) 위험수준 산출 평가방법

우선 신체부위를 A그룹(몸통, 목, 다리)과 B그룹(팔, 손목)으로 구분하고, REBA 워크시트를 통하여 각 부위 별 자세에 해당하는 점수를 산출한다. 그리고 A그룹에서 얻은 점수 A와 B그룹에서 얻은 점수 B를 이용하여 표 5를 통한 점수 C를 얻음으로써 작업부하에 대한 위험 수준을 산출할 수 있다. 예를 들어 A그룹에서 4점을 획득하고, B 그룹에서 7점을 획득하였을 경우 가로열의 4점과 세로열의 7점이 만나는 곳의 점수7이 C 그룹의 점수가 된다.

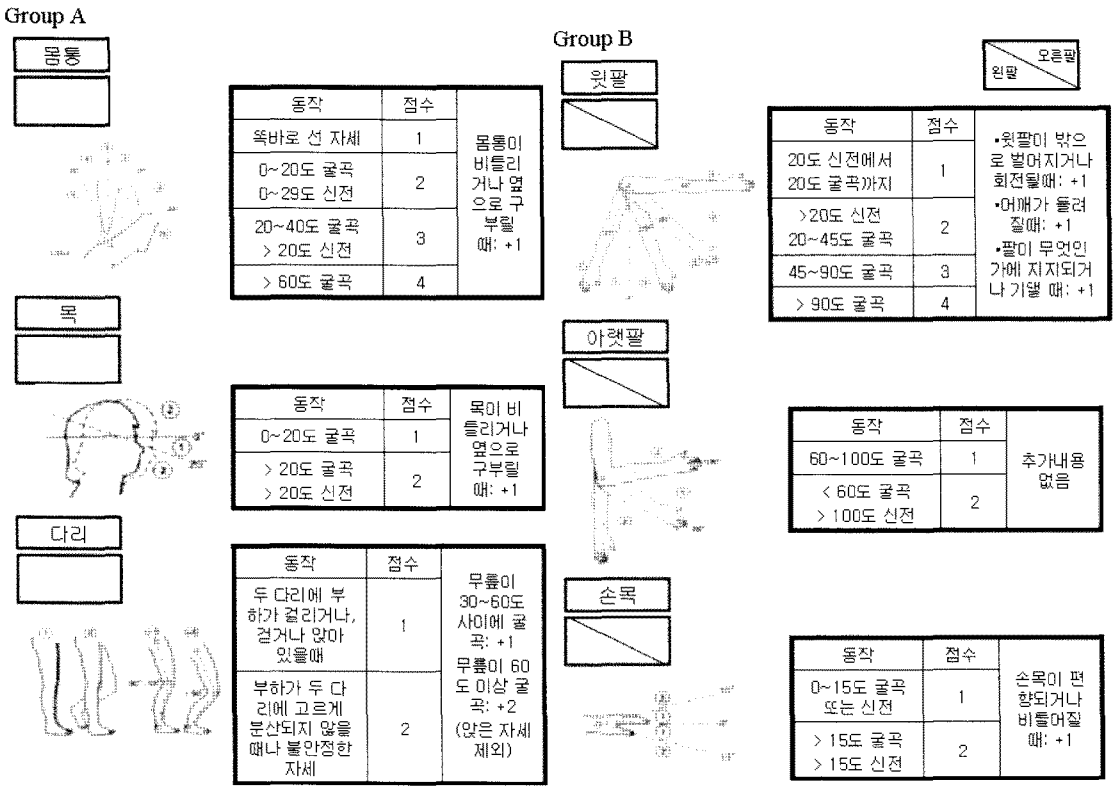

Fig. 9 REBA worksheet

Table 5 Table C and activity score

score C		score A											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
score B	1	1	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12
	2	1	2	3	4	4	6	7	8	9	10	11	12
	3	1	2	3	4	4	6	7	8	9	10	11	12
	4	2	3	3	4	5	7	8	9	10	11	11	12
	5	3	4	4	5	6	8	9	10	10	11	12	12
	6	3	4	5	6	7	8	9	10	10	11	12	12
	7	4	5	6	7	8	9	9	10	11	11	12	12
	8	5	6	7	8	8	9	10	10	11	12	12	12
	9	6	6	7	8	9	10	10	10	11	12	12	12
	10	7	7	8	9	9	10	11	11	12	12	12	12
	11	7	7	8	9	9	10	11	11	12	12	12	12
	12	7	8	8	9	9	10	11	11	12	12	12	12

Activity score

- +1 • 1 or more body parts are static, e.g. held for longer than 1 min
- +1 • Repeated small range actions, e.g. repeated more than 4 times per minute (not including walking)
- +1 • Action causes rapid large range changes in postures or an unstable base

3. 결과 및 고찰

인체의 기구학적 분석을 통하여 REBA의 항목 중 신체부위 A그룹(몸통, 목, 다리)의 실험치의 전체 평균 점수는 표 6과 같다. 기존의 수확운반차는 들기 작업에서 4.0~6.0이고, 내리기 작업에서 4.0~6.0이고, 밀기 작업에서 3.0~5.0으로 나타났다. 개발된 수확운반차는 들기 작업에서 2.6~4.6이고, 내리기 작업에서 3.2~5.2이고, 밀기 작업에서 2.0~3.0으로 나타났다.

분석한 점수결과에서 볼 수 있듯이 개발된 수확운반차가

Table 6 Score A of REBA during lifting, lowering and pushing

weight	wheelbarrow (S.D.)			redesigned barrow (S.D.)		
	lifting	lowering	pushing	lifting	lowering	pushing
0 N	4.0(0)**	4.0(0)**	3.0(0.71)*	2.6(0.55)	3.2(0.44)	2.0(0)
400 N	6.0(0)**	6.0(0)**	5.0(0.71)*	4.6(0.55)	5.2(0.44)	4.0(0)
800 N	6.0(0)**	6.0(0)**	5.0(0.71)*	4.6(0.55)	5.2(0.44)	4.0(0)

*p<0.05, **p<0.01 between wheelbarrow and redesigned barrow

Table 7 Score B of REBA during lifting, lowering and pushing

weight	wheelbarrow (S.D.)			redesigned barrow (S.D.)		
	lifting	lowering	pushing	lifting	lowering	pushing
0 N	4.2(1.10)*	4.2(1.10)**	2.2(0.45)**	2.8(0.45)	2..0(0)	1.0(0)
400 N	4.2(1.10)*	4.2(1.10)**	2.2(0.45)**	2.8(0.45)	2..0(0)	1.0(0)
800 N	4.6(0.89)**	4.6(0.89)**	2.4(0.55)**	2.8(0.45)	2..0(0)	1.0(0)

*p<0.05, **p<0.01 between wheelbarrow and redesigned barrow

기존의 수확운반차보다 점수가 적게 나타났으며, 이는 개발된 수확운반차가 기존의 수확운반차보다 몸통, 목, 다리에 걸리는 작업부하가 적다는 것을 의미한다.

그리고 두 가지 수확운반차 모두 중량에 따라서는 무게가 400 N과 800 N에서는 동일한 결과를 보였고, 무게가 없을 때가 무게 400 N과 800 N에 비하여 적은 점수로 나타났다.

작업 동작에서 들기 및 내리기 작업이 밀기 작업에 비하여 동일한 무게에서 작업부하가 크게 나타났고, 들기와 내리기 작업은 기존의 수확운반차에서 동일한 경향을 보였으며 개발된 수확운반차에서는 들기 작업에서 작업 부하가 적게 나타났다.

그림 10에서 보는 바와 같이 작업동작에 관계없이 기존 및 개발된 제품은 400 N과 800 N에서 동일하게 나타났다. 작업동작에 관계없이 기존의 수확운반차가 인간공학적으로 개발된 제품에 비하여 REBA A 점수가 크게 나타났고, 이러한 결과는 인간공학적으로 개발된 수확운반차량이 기존의 제품보다 인체에 걸리는 작업부하가 적다는 것을 알 수가 있었다.

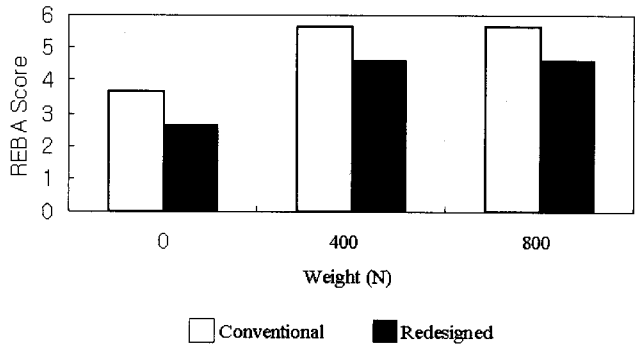

Fig. 10 Results of REBA Score A.

인체의 기구학적 분석을 통하여 REBA의 항목 중 신체부위 B그룹(팔, 손목)의 실험치의 전체 평균 점수는 표 7과 같다. 기존의 수확운반차는 들기 작업에서 4.2~4.6이고, 내리기 작업에서 4.2~4.6이고, 밀기 작업에서 2.2~2.4로 나타났다. 개발된 수확운반차는 들기 작업에서 2.8이고, 내리기 작업에서 2.0이고, 밀기 작업에서 1.0으로 나타났다. 분석한 점수결과에서 볼 수 있듯이 개발된 수확운반차가 기존의 수확운반차보다 점수가 적게 나타났으며, 이는 개발된 수확운반차가 기존의 수확운반차보다 팔 및 손목에 걸리는 작업부하가 적다는 것이다.

기존의 수확운반차를 이용한 작업 동작에서는 들기와 내리기 동작은 동일한 점수를 보였고 밀기 동작은 들기와 내리기 동작보다 적은 점수를 보였다. 개발된 제품은 들기 동작>내리기 동작>밀기 동작 순으로 점수가 나타났다.

그림 11에서 보는바와 같이 작업동작에 관계없이 기존 및 개발된 제품은 0 N과 400 N에서 동일하게 나타났다. 작업동작에 관계없이 기존의 수확운반차가 인간공학적으로 개발된 제품에 비하여 REBA B 점수가 크게 나타났고, 이러한 결과는 인간공학적으로 개발된 수확운반차량이 기존의 제품보다 인체에 걸리는 작업부하가 적다는 것을 알 수가 있었다.

또한 그림 10와 그림 11을 비교할 때, 전체적으로 REBA B의 점수가 REBA A의 점수보다 낮게 나타났다. REBA B의 점수는 팔과 손목에 대한 영향을 의미하고, REBA A의 점수는 몸통, 다리 및 목 부분의 불편함을 의미한다. 따라서 기존 제품과 개발된 운반차량 모두 몸통, 다리 및 목 부분의 부하를 더 많이 받고 있다는 것을 알 수 있다.

인체의 기구학적 분석을 통하여 REBA 점수 C의 전체 평균 점수는 표 8과 같다. 기존의 수확운반차는 들기 작업에서

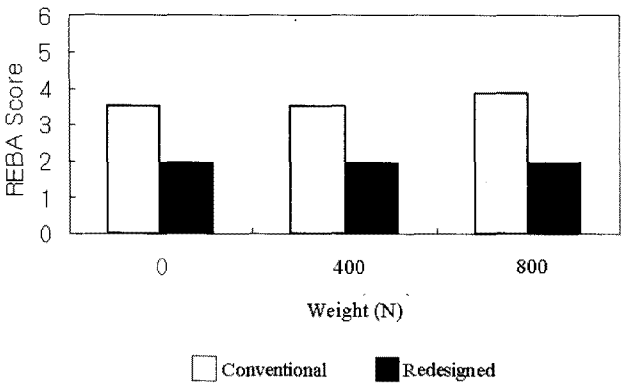

Fig. 11 Results of REBA Score B.

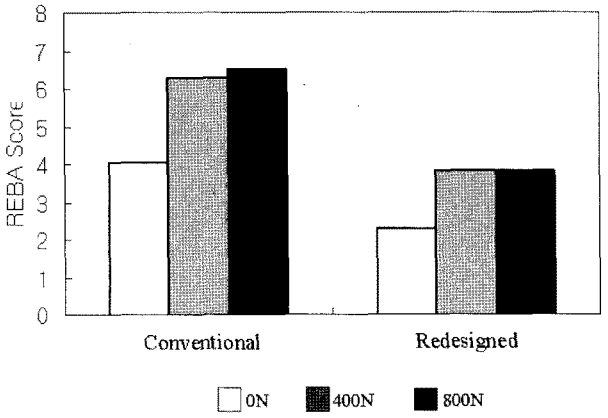

Fig. 12 Results of REBA Score C.

Table 8 Score C of REBA during lifting, lowering and pushing.

weight	wheelbarrow (S.D.)			redesigned barrow (S.D.)		
	lifting	lowering	pushing	lifting	lowering	pushing
0 N	4.6(0.55)*	4.6(0.55)*	3.0(0.71)*	2.6(0.55)	3.2(0.44)	1.0(0)
400 N	7.2(1.10)*	7.2(1.10)*	4.4(0.90)*	4.0(0)	4.4(0.90)	3.0(0)
800 N	7.6(0.89)*	7.6(0.89)*	4.4(0.90)*	4.0(0)	4.4(0.90)	3.0(0)

*$p<0.01$ between wheelbarrow and redesigned barrow

4.6~7.2이고, 내리기 작업에서 4.2~7.2이고, 밀기 작업에서 3.0~4.4로 나타났다. 개발된 수확운반차는 들기 작업에서 2.6~4.0이고, 내리기 작업에서 3.2~4.4이고, 밀기 작업에서 1.0~3.0으로 나타났다. 분석한 점수결과에서 볼 수 있듯이 개발된 수확운반차가 기존의 수확운반차보다 점수가 적게 나타났으며, 이는 개발된 수확운반차가 기존의 수확운반차보다 인체에 작용하는 작업부하가 적다는 것을 의미한다.

기존의 수확운반차를 이용한 작업 동작에서는 들기와 내리기 동작은 동일한 점수를 보였고 밀기 동작은 들기와 내리기 동작보다 적은 점수를 보였다. 개발된 제품은 내리기 동작> 들기 동작>밀기 동작 순으로 점수가 나타났다.

그림 12에서 보는바와 같이 작업동작에 관계없이 기존 수확운반차가 인간공학적으로 개발된 제품에 비하여 REBA C 점수가 크게 나타났고, 이러한 결과는 인간공학적으로 개발된 수확운반차가 기존의 제품보다 인체에 안전하다는 것을 알 수가 있었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 수확운반차의 비중이 높은 시설참외재배 작업에서 일반적인 자세평가에 사용하는 REBA분석을 통하여 기존의 수확운반차를 인간공학적으로 개선한 제품으로 개발하고 평가하였다.

(1) REBA 점수에 의한 평가에서 A 점수가 B점수보다 크게 나타났다. 이는 신체부위 A그룹(몸통, 목, 다리)이 B그룹(팔, 손목)보다 많은 부하를 받고 있다는 것이다.

(2) 수확운반차는 밀기 동작보다는 들기 및 내리기 동작에서 점수가 크게 났다.

(3) 기존의 수확운반차의 REBA 점수 C는 작동 동작에 관계없이 3.0~7.6 사이로 나타났고, 인간공학적으로 개발된 제품은 1.0~4.4로 나타났다. 이러한 결과는 개발된 제품이 기존의 제품에 비하여 인체에 걸리는 작업부하가 적고 안전하였다.

참고문헌

1. David, T., C. Ronald, K. Antone, L. John and B. Gwendolyn. 2002. Design for Six Sigma: 15 Lessons Learned, Quality Progress. pp.33-42.
2. Hignett, S. and L. McAtamney. 2000. Technical note rapid entire body assessment (REBA). Applied Ergonomics 31:201-205.
3. Kojima, K. 1980. Design and experiment work of riding battery car. J. of the Japanese Society for Agricultural Machinery. 42(3):363-368. (In Japanese)
4. Koo, H. R., S. S. Lee and J. H. Mun. 2004. Correlation between box size and fatigue of the back muscles during

lifting action. J. of Biosystems Eng. 29(6):531-538. (In Korean)
5. Kwon, K. Y., C. H. Kang, S. R. Jung, J. R. Son, K. S. Han and I. J. Jang. 2001. Development of a worker-following vehicle for transporting in greenhouses. Proceeding of the KSAM winter conference. 6(1):420-425. (In Korean)
6. Kwon, K. Y., S. R. Jung, C. H. Kang, J. R. Son, K. S. Han, S. H. Chung and I. J. Jang. 2002a. Development of an autonomous worker-following transport vehicle (I) -Manufacture and indoor experiment of the prototype vehicle-. J. of Biosystems Eng. 27(5):409-416. (In Korean)
8. Kwon, K. Y., S. R. Jung, C. H. Kang, J. R. Son, K. S. Han, S. H. Chung and I. J. Jang. 2002b. Development of an autonomous worker-following transport vehicle (II) -Supplementation of driving control system and field experiment-. J. of Biosystems Eng. 27(5):417-424. (In Korean)
9. MacLeod, D. 1999. The Office Ergonomics Kit. Lewis Publishers, New York.
10. 김경수, 김경란, 김효철, 이경숙. 2006. 시설참외 재배작업의 근골격계 위험도 및 자각증상 호소율. 한국산업위생학회지 16: 395-397.
11. 농림부. 2005. 주요 작물 지역별 재배동향. 농림부 국립 농산물 품질관리원. pp.47.
12. 이재환. 1997. 온실용 간이 자율주행 작업차 개발. 석사학위논문. 서울대학교 대학원.
13. 임대섭, 이경숙, 구혜란, 김경란, 강경하. 2006. 참외재배 농가의 수확물 운반차량 사용실태조사 및 분석. 한국 지역사회 생활과학회 춘계학술대회 5:119.