

인체모델을 이용한 농작업자의 밀기 작업시 요추부 생체 역학적 평가

임대섭 이경숙 최안렬 김영진 문정환

Bio-mechanical Analysis on the Lower Back using Human Model during Pushing the Manual Vehicles

D. S. Lim K. S. Lee A. R. Choi Y. J. Kim J. H. Mun

Abstract

A high prevalence of protected horticulture farmer's work-related musculo-skeletal disorders (MSDs) have been reported in precedent studies. One of the tasks required ergonomic intervention to reduce the musculo-skeletal risks is the task of product transporting. The purpose of this study is to evaluate quantitatively the spinal load of operator using manual vehicles to predict and prevent musculo-skeletal risks. Spinal load in operators using 4 kinds of manual vehicle were analyzed. Before evaluating spinal load on operator using the manual vehicles by bio-mechanical approach, it is needed to validate human model. In this study, ADAMS LifeMOD human model shows satisfactory results, comparing with already validated model's results or measured results. While Operators pushed the manual vehicles(wheelbarrow, Trolley, 2 wheel cart, and 4 wheel cart) contained loads that were 0 N and 800 N, their spinal loads(compression force, shear force) were evaluated. The compression force demonstrated under the NIOSH action limits - 3410N - for all 4 manual vehicle's operators(McGill 1997; Marras 2000). However, the lateral shear force demonstrated over the University of Waterloo - 500N - for all 3 manual vehicle's operators except 4Wheel cart (Yingline and McGill, 1999). Therefore, operators have risks in prevalence of the musculo-skeletal disorders due to shear force. The findings of this study suggest that it need to be determine the spinal load, especially lateral shear force in designing the manual vehicles in the future.

Keywords : Manual vehicle, Human model, Pushing, Spinal load, Bio-mechanical analysis

1. 서론

국내적으로 농업인의 감소, 고령화, 부녀화 등 농업인력 조건이 약화되고, 비닐하우스의 증가로 인해 연중무휴의 노동 조건으로 변함으로써 농업인의 건강상태가 약화되고 있다. 또한 농작업에서의 기계화가 진전되었음에도 불구하고 여전히 인력작업에 의존하는 비율이 높으며, 작물위주의 작업으로 인한 불편한 작업자세, 반복동작, 과도한 힘, 장시간의 노동, 휴식시간의 부족 등 다수의 인간공학적 위험요인을 가지

고 있어, 농부중, 근골격계 질환 등 직업성질환의 위험성이 상존하고 있다(Kim et al., 2006). 근골격계 질환은 치료요양 비용과 노동력 상실이 막대하여 사회적 비용이 큰 질환으로 분류되고 있어 선진국의 경우 사회문제화 되고 있다. 우리나라에서도 최근에 많은 근로자들이 근골격계 증상을 호소하고, 그로 인해 막대한 사회적 비용이 발생하고 있어 이에 대한 대책마련에 기업이나 국가에서도 많은 힘을 기울이고 있다. 이러한 근골격계 질환은 특히 농업인에게서 많이 발생하고 있는데, 농림어업인이 비농림어업인에 비해 2.4배 정도 높

The article was submitted for publication on 2009-01-20, reviewed on 2009-06-27, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-07-15. The authors are Dae Seob Lim, KSAM member, Researcher, Dept. of Biomechanics Engineering, Sungkyunkwan University, Kyoung Suk Lee, KSAM member, Researcher, Ahn Ryul Choi, Researcher, Dept. of Biomechanics Engineering, Sungkyunkwan University, Young Jin Kim, Researcher, Dept. of Biomechanics Engineering, Sungkyunkwan University, and Joung Hwan Mun, KSAM member, Associate Professor, Dept. of Biomechanics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. Corresponding author: J. H. Mun, Associate Professor, Dept. of Biomechanics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea; Tel: +82-31-299-4820; Fax: +82-31-299-4825; E-mail: <jmun@skku.ac.kr>.

은 것으로 파악되었다(Kim and Choi, 2005). 특히, 근골격계 질환중 허리와 관련된 요통질환이 가장 높다. 시설재배의 경우에는 수도작의 경우와 달리 농작업의 기계화가 매우 낮으며, 좁은 작업 공간 내에서 작업이 주로 이뤄지므로 작업자가 쪼그려 앉은 자세나 서서 허리를 굽힌 자세로 장시간 작업을 해야 하기 때문에 피로가 심하고 허리 통증 및 심할 경우 허리가 영구적으로 굽어지는 현상이 생긴다. 또한 시설재배는 그 특성상 수확기간이 일정하게 정해져 있는 것이 아니라 재배기간 내에 연속적으로 수확작업이 이루어지며, 시설재배의 주요 작목들은 수분이 많고 곡물에 비해 단위면적당 수확물의 중량이 매우 크기 때문에, 수확물 운반 작업은 전체 작업에서 작업부담이 크고, 허리 및 무릎 부위의 근골격계 위험성이 높은 작업으로 분류되고 있다. 시설 재배 농가를 대상으로 한 설문작업 평가에서도 수확 및 수확물 운반 작업은 주관적인 노동강도가 높아 우선적인 작업개선이 필요한 작업이다(Kim, 2008).

현재 농작업 현장에서는 트롤리(trolley), 카트 및 운반대차 등이 수확물, 비료 및 작업도구들을 운반할 목적으로 사용되고 있다. 이들 운반목적의 보조도구들은 작업효율을 향상시키며, 작업자의 에너지 소비량을 저감시켜 널리 이용되고 있다. 그럼에도 불구하고, 그들의 인간공학적 설계엔 거의 관심이 기울여지고 있지 않다. 게다가 잘못된 설계된 제품이거나 작업의 특성에 맞지 않는 잘못된 선택으로 인해 작업자의 상해나 부상이 빈번히 발생되고 있다(Mathisson et al, 1994; Mack et al., 1995; Sillanp et al., 1999; Jung et al., 2005). 더욱이 심각한 것은 이들 운반 작업도구 제품이 중소기업 또는 제조사 개인의 경험에 의해 설계되는 정성적인 방법이 주를 이루고 있기 때문에 정량적인 결과에 기인한 연구개발이 시급하다는 점이다. 농작업 현장에 쓰이는 운반대차에 대한 연구들은 주로 에너지대사량을 이용한 생리학적인 평가로 작업자의 작업부담 평가를 내렸다(Haisman et al., 1972; Haisman and Goldman, 1974; Choi et al., 1997). 이는 운반대차를 이용한 밀기 및 끌기작업이 빈번히 몸통과 상지 근육의 등장성 운동을 유발하고, 심장 혈관계관에 영향을 미치기 때문이다. 이들 연구는 산소소비량과 심박수를 이용하여 작업의 부담정도에 따라 작업의 노동강도를 평가하였다. 하지만, 상해가 빈번히 발생하는 허리, 어깨 및 하지와 같이 특정부위에 부가되는 각각의 작업부하 - 근력 및 피로 -를 평가하기에는 한계가 있다(Hoozemans et al., 1998). 또 다른 연구들은 운반 작업자의 작업자세로 인한 근골격계 질환 위험인자를 조사하기 위해 체크리스트 REBA 분석을 수행하였고, 운반 작업자의 불편한 부위에 대한 주관적인 평가를 내렸다(Kim et al., 2006; Lee et al., 2008). 하지만 이들 연구는 평가자의 주

관적인 개입이 평가의 신뢰성에 영향을 미치는 정성적인 평가라는 한계점이 있다.

생체 역학적 모델은 근골격계 부위에 부가되는 기계학적 스트레스를 예측하여, 신체 각 관절이나 근육에 부가되는 기계적 부하를 평가한다(Hoozemans et al., 1998). 이 기계적 부하가 구조물의 지탱능력을 초과할 경우, 생체 구조물 - 근육, 건 및 인대 - 등이 파손되고 근골격계 질환이 유발된다(Kumar, 1990). 이 인체모델을 이용한 작업자의 생체 역학적 평가방법은 근골격계 질환의 위험성을 정량적으로 평가하고, 작업개선 효과에 대한 정량적인 평가 뿐 아니라 작업보조 도구의 최적 설계에도 활용될 수 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 현재 수확물 운반작업에 이용되는 4종류의 운반대차에 대한 생체 역학적 평가를 통해 운반 작업자 요추부의 근골격계 위험도를 정량적으로 평가하고, 향후 운반대차의 설계 및 평가에 기초자료를 제공하는데 있다. 일반적으로 운반하는 작업은 밀고/끄는 작업뿐만 아니라 방향 전환을 위해 회전하는 작업으로 구성 되는데, 본 연구에서는 직선으로 가는 작업에 국한시켜 분석하였다. 그리고 운반대차의 바퀴 수에 따라 적재중량의 차이가 있음에도 불구하고, 동등한 중량 80 kg을 적재하여 평가하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험기기

1) 실험 대상자

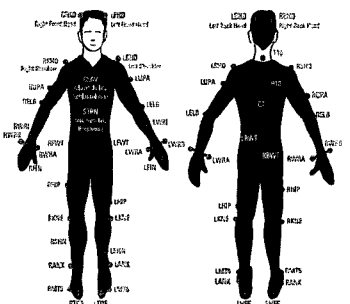
본 연구의 대상자는 실험의 객관성을 유지하기 위하여 근골격계 질환 및 허리 관련 질환이 없는 남성 15명으로 하였다. 인체모델의 유용성을 검증하기 위해서 보행 실험과 들기 실험에 각각 5명의 피험자가 참여하였다. 그리고 운반대차를

Table 1 Characteristics of the subjects

Age(yr)	Height(cm)	Weight(kg)
25.3 (± 0.6)	178 (± 7)	75.3 (± 5.9)



(a) Subject



(b) Plug-in Gait Marker-set

Fig. 1 Subject and marker-set.

Table 2 Specification of manual vehicles

Contents		Items	Manual Vehicle			
			Wheelbarrow	Trolley	2Wheel Cart	4Wheel Cart
Element	Tire (Type)	Pneumatic	Pneumatic	Pneumatic	Pneumatic	
	Frame	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	
	Material	Steel	Steel	Aluminium	Aluminium	
Body Size	Length (mm)	1200	550	1400	1200	
	Width (mm)	560	525	540	590	
	Height (mm)	650	1100	750	1000	
	Shaft distance of Tire (mm)	0	480	300	460	
	Ground clearance (mm)	200	0	500	350	
	Wheel Size (mm)	254	203	430	220	
	Weight (kg)	16.3	12.4	9.1	10.0	

Table 3 Specification of the equipment used in this study

Equipment	Maker	Model	Specification
Camera	VICON	MCam2	1. User selected frame rates : up to 1000 fps 2. Pixel of digital CMOS sensor : 1280 x 1024 3. Aspect ratio : 1.33:1 4. Infra-red strobe : 875 nm 5. Resolution : 1280 x 1024 pixels
Force Platform	AMTI	OR6-1	1. Channel : 6 Channel 2. Frequency : 60 ~ 1080 Hz 3. Fx, Fy, Fz hysteresis: ± 0.2% Full Scale Output

이용한 밀기작업 실험에 5명이 참여하였다. 이들의 신체적 특징은 표 1과 같으며, 모두 오른손잡이이다. 피험자의 전신운동을 계측하기 위해 그림 1과 같이 플러그인 광학마커세트를 사용하였다.

2) 실험재료

운반대차를 이용한 밀기작업의 평가를 위해서 농작업장에서 널리 쓰이고, 업체에서 시판중인 대표적인 4 종류의 운반대차 - 1륜차, 트롤리, 2륜 카트, 4륜 카트 - 등을 선택하여 평가하였고, 이들 운반대차에 대한 특성은 표 2와 같다.

3) 실험장치

실험 장치는 인체의 움직임을 포착하기 위해 인체에 부착한 광학마커, 마커의 반사광을 받아들이는 Vicon사(VICON motion system Ltd., UK)의 카메라 6대 그리고 지면반력을 측정하기 위한 AMTI사(AMTI, Watertown, USA) 2대의 지면반력기로 구성하였다. 인체에 부착된 광학마커는 빛을 반사시키고 이 빛을 6대의 카메라가 적외선 스트로브로 받아들이어 인체의 움직임 즉 위치 정보 및 각 관절의 각을 측정한다. 카메라 각각을 통해 획득된 2차원 위치정보는 데이터 스테이션을 통해 3차원 위치정보로 변환되었으며, 카메라와 지면반력기의 주요 제원은 표 3과 같다.

나. 실험방법

그림 2에 제시된 흐름도와 같이, 먼저 작업현장을 방문하여 연구대상이 되는 운반작업에 대한 비디오촬영을 한 후, 작업 분석을 하여 운반 작업속도, 운반 작업자세 및 운반중량 등을 실내실험의 참고자료로 사용하였다(Lim et al., 2006). 그 다음 과정으로는 인체모델을 이용한 운반 작업자의 생체 역학적 분석을 위해서 운동 분석 장비(VICON motion system Ltd., UK)를 통해 피실험자의 작업동작 및 지면반력을 측정하고, 이를 이용하여 인체모델의 유용성을 검증하였다. 마지막으로

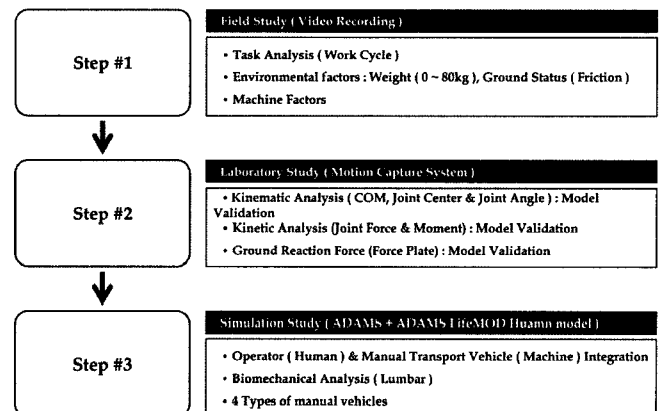


Fig. 2 Study Process using Human Model.

검증된 인체모델은 컴퓨터 모의실험 환경 내에서 운반 작업자의 생체 역학적 평가를 위해 이용되었다.

운동 분석 장비를 이용하여 두 가지 유형의 동작 정보를 획득하였다. 첫째는 모델의 검증을 위해서 보행동작과 들기 동작정보를 획득하였고, 두 번째는 검증된 모델을 이용하여 분석할 동작인 운반대차의 밀기 동작 정보를 획득하였다.

다. ADAMS LifeMOD 이용한 인체모델링

구현된 인체모델은 상용 소프트웨어인 BRG.LifeMOD 2005.0.0 (Biomechanics Research Group, Inc., USA)을 이용하였다. 이 소프트웨어는 상용 다물체 동역학 해석 프로그램인 ADAMS (Mechanical Dynamics Inc., USA)에 기반하여 구동된다. ADAMS LifeMOD 인체모델을 이용한 모의실험 연구는 모델을 구성하고, 운동을 구현하여, 그 인체모델을 이용한 결과의 신뢰성을 검증하기 위해 유용성 평가를 선행하였다. 전 과정을 통해 검증된 인체모델을 이용하여 농작업장에서 수확물 운반 작업에 이용되는 운반대차의 작업자의 요추부에 대한 생체역학적인 평가를 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. ADAMS LifeMOD 인체모델 검증 결과

모델의 유용성을 검증하기 위해서는 적합한 평가인자 뿐만 아니라 평가방법이 중요하다. 일반적으로 평가인자는 모델을 통해 예측하고 평가하고자 하는 인자를 선택하게 된다. 적절한 평가방법을 통해 모델링 작업의 유용성을 평가받는데, 절대 값 차이식 (1)과 식 (2), 상대 값 차이 식 (3) 및 상관도 식 (4) 등으로 평가한다.

$$\text{Absolute Difference} = L_{LifeMOD} - L_{Vicon} \quad (1)$$

$$\text{Root Mean Square} = \sqrt{\frac{\sum(L_{LifeMOD} - L_{Vicon})^2}{n}} \quad (2)$$

$$\text{Relative Difference (\%)} = \frac{L_{LifeMOD} - L_{Vicon}}{L_{Vicon}} \times 100 \quad (3)$$

$$r_{LifeMOD, Vicon} = \frac{\sum L_{LifeMOD} * L_{Vicon}}{\sum L_{LifeMOD}^2 * \sum L_{Vicon}^2} \quad (4)$$

where, $L_{LifeMOD}$: Predictive value, L_{Vicon} : Experimental value

보행 모델의 경우는 이미 검증되어 상용 프로그램에 사용되는 Vicon Plugin-Gait 모델의 결과와 비교 평가하였고, 들기 모델의 경우는 문헌에 제시된 요추부 부하와 비교 평가하여 모델의 유용성을 검증하였다. 지면반력의 경우는 계측기를 통해 측정된 수치와 족부모델을 통해 얻은 수치를 비교 평가하였다.

1) 무게중심 및 지면반력

그림 3와 표 4에서와 같이, 보행 중에 발생하는 지면반력 (GRF)을 살펴보면, 상대값 차이 값의 경우, 왼쪽, 오른쪽 모두 15% 이하의 값을 가지며, 생체 역학적 분석의 적당한 기준인 15%이내에 포함되었다(Wojtyra, 1999). 절대값 차이 값

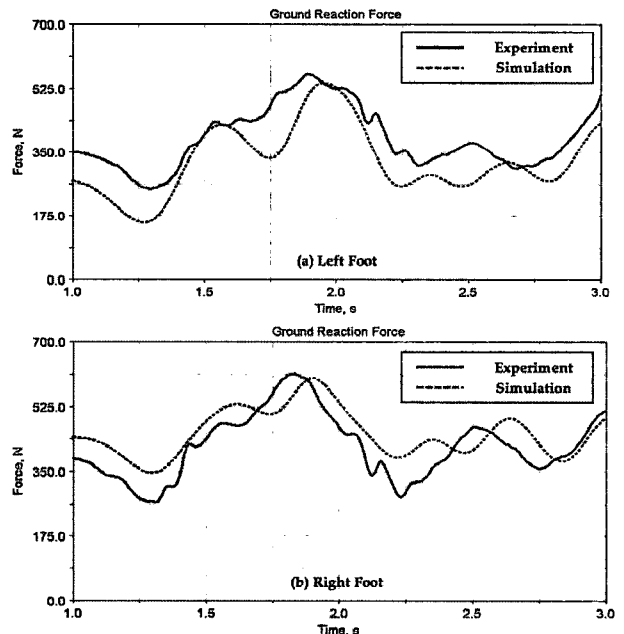


Fig. 3 Validation Data in Ground Reaction Force - Vertical Force (dotted : Experiment, line : Simulation).

Table 4 The validation of the simulation's result in ground reaction force at walking

Contents	Left Foot			Right Foot		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Relative Position Differences (%)	-2.49	-	-4.22	14.53	-	-1.42
Absolute Position Differences (N)	-6.62	-0.68	8.71	-0.97	2.39	10.74
Root Mean Square (N)	62.45	27.41	93.40	65.83	9.53	100.64
Pearson's Correlation Coefficients	0.94	0.62	0.94	0.94	0.77	0.94

X : Forward-Backward, Y : Left-Right, Z : Upward-Downward

Table 5 The validation of the simulation's result in COM at walking

Contents	Center of Mass		
	X	Y	Z
Relative Position Differences (%)	3.17	0.04	0.19
Absolute Position Differences (mm)	-7.06	-0.18	-0.88
Root Mean Square (mm)	13.69	9.91	7.79
Pearson's Correlation Coefficients	0.99	0.78	0.74

X : Anterior/posterior, Y : Vertical, Z : Right/Left

Table 6 The validation of the simulation's result in kinematic data at walking

Contents	Left			Right		
	Ankle	Knee	Hip	Ankle	Knee	Hip
Relative Position Differences (%)	-9.17	0.70	-1.97	1.28	5.47	-1.52
Absolute Position Differences (N)	1.17	0.01	0.62	0.03	-0.54	-0.56
Root Mean Square (N)	2.26	2.46	2.44	2.08	3.28	2.48
Pearson's Correlation Coefficients	0.97	0.99	0.99	0.97	0.99	0.99

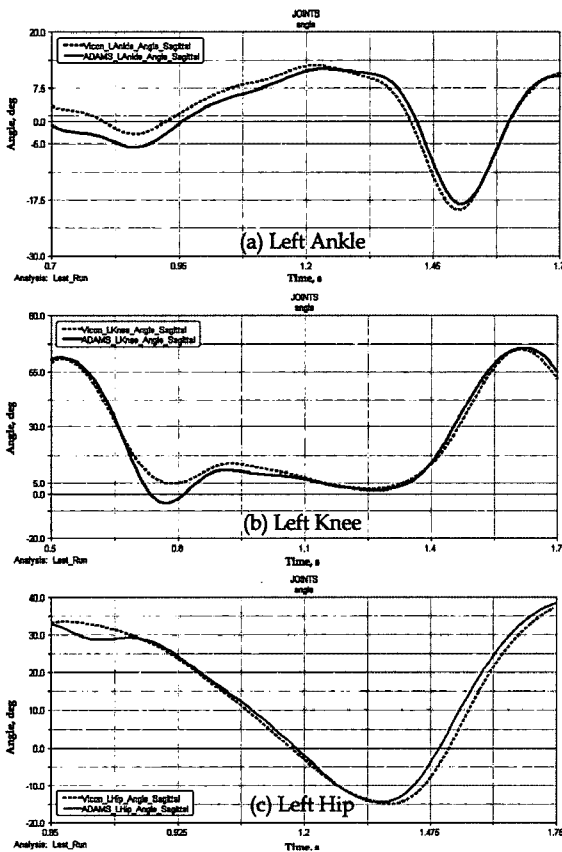


Fig. 4 The validation of the simulation's result in kinematic data at walking (dotted:Experiment, line:Simulation).

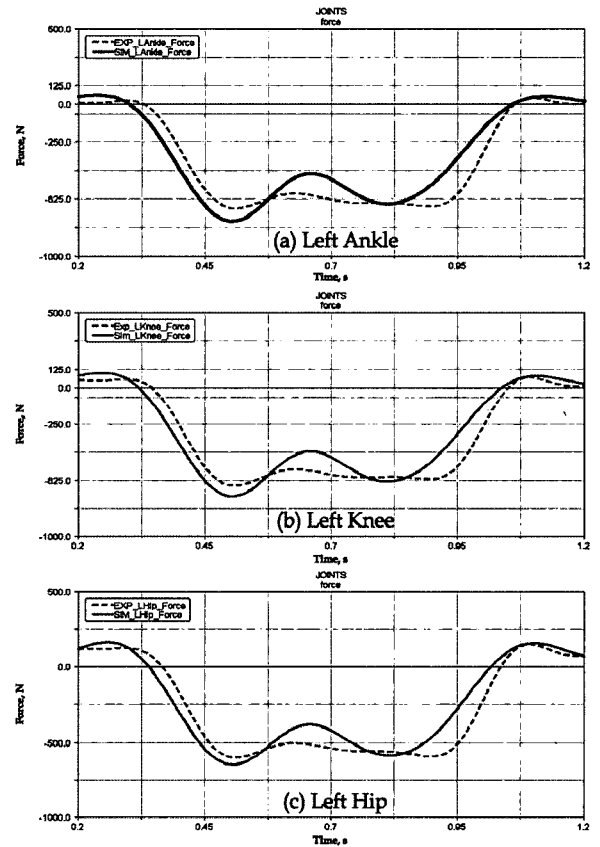


Fig. 5 The validation of the simulation's result in kinetic data at walking (dotted:Experiment, line:Simulation).

의 경우, 문헌에 제시되어 있는 좌, 우 측방 수평력과 상, 하 수직력인 39.1N, 111N보다 작은 값을 보였다(Gilchrist and Winter, 1997). 상관관계는 좌, 우 측방 수평력을 제외하고 상, 하 수직력의 상관관계는 0.9 이상으로 매우 높았다(Jung, 1997). 보행분석에서는 상, 하 수직력이 좌, 우 측방 수평력과

전, 후방 수평력에 비해 매우 큰 값을 가지므로, 주로 상, 하 수직력에서의 결과를 통해 모델의 유용성을 평가한다. 따라서 인체모형을 통한 예측치가 문헌에 제시된 오차 범위 내에 존재함을 확인할 수 있었다.

표 5에서와 같이, 무게중심(COM) 결과를 살펴보면, 상대

Table 7 The validation of the simulation's result in kinetic data at walking

Contents	Left			Right		
	Ankle	Knee	Hip	Ankle	Knee	Hip
Relative Position Differences (%)	-4.75	-8.00	-6.34	-1.57	-2.52	-0.73
Absolute Position Differences (N)	22.77	0.84	6.27	-5.15	-8.07	-5.34
Root Mean Square (N)	96.24	99.76	108.16	98.53	104.50	102.01
Pearson's Correlation Coefficients	0.95	0.94	0.94	0.95	0.94	0.94

값 차이 값의 경우, 진행방향(X), 측면방향(Y) 및 상하방향(Z) 모두 10% 이하의 값을 가지며, 생체 역학적 분석의 적당한 기준인 15% 이내에 포함되었다. 절대 값의 차이도 문헌에 제시된 값 64 mm보다 작은 값을 보였다(Pan et al., 2004). 상관관계 계수도 0.7 이상으로 상관관계가 높았다.

2) 기구학적 정보 및 운동역학적 정보

기구학적 정보(관절의 각운동)를 살펴보면, 상대값 차이 값의 경우, 발목, 무릎, 힙 관절 모두 10% 이하의 값을 가지며, 생체 역학적 분석의 적당한 기준인 15% 이내에 포함되었다. 절대 값의 차이도 평균 5도 이하였다. 상관관계 계수는 0.9 이상으로 상관관계가 매우 높았다.

운동역학적 정보(관절에 발생하는 힘과 모멘트)를 살펴보면, 상대값 차이 값의 경우, 발목, 무릎, 힙 관절 모두 10% 이하의 값을 가지며, 생체 역학적 분석의 적당한 기준인 15% 이내에 포함되었다. 절대 값의 차이도 평균 5도 이하였다. 상관관계 계수는 0.9 이상으로 상관관계가 매우 높았다.

나. 요추부 관절 토크

들기 실험은 요추부의 관절토크를 비교 평가하기 위해 수행되었다. 들기 작업의 경우 요추부의 상해를 가장 빈번히 발생시키는 작업으로 많은 연구들이 되어 왔으며, 그 결과들을 비교 평가하기에 적합한 실험이라 판단되어 수행하였고, 본 연구에서는 Kingma 등(1998)의 논문에 제시된 방법과 동일하게 수행하여 비교 평가하였다.

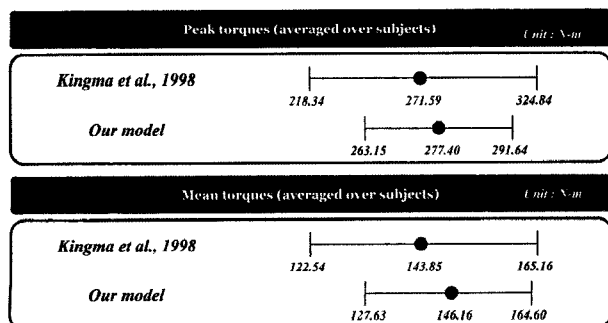


Fig. 6 The validation of the simulation's result in torque at Lumbosacral Joint.

들기 실험에서는 중량물과의 거리, 높이, 시간 및 자세에 따라 달라지므로 문헌의 실험과 동일하게 설정하여 시행하였다. 요추부 토크 값은 최대값과 평균값을 구하여, 문헌(Kingma et al., 1998)과 비교하였다. 인체모형을 통해 예측된 최대 토크 및 평균 토크 값이 문헌에 제시된 최소값과 최대값 사이에 있는 것으로 분석되었다.

다. 운반대차를 이용한 밀기 및 끌기 작업 적용 평가

그림 7과 같이 운반 작업자의 보행 1주기를 대상으로 비교, 평가하였다. 상해가 빈번히 발생하는 부위인 허리 부위의 생체 역학적 평가 파라미터인 압축력, 측면 전단력 및 전방 전단력을 도출하여, 위험도를 정량적으로 평가하였다. 미국 국립안전보건청(NIOSH)와 미국 워털루대학에서 제시한 기준에 의거하여, 수확물 운반 작업에 널리 쓰이는 4종류의 운반대차 작업자의 요추부 근골격계 위험도를 평가하였다(Marras et al, 1999; McGill, 1997; Marras, 2000).

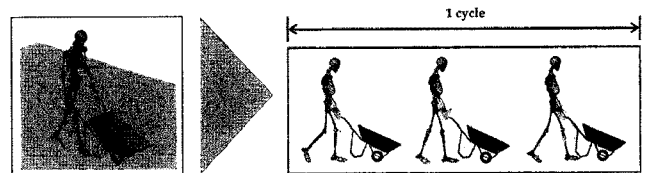


Fig. 7 Pushing at Simulation Using Human Model.

1) 통합 시뮬레이션 작업환경

작업자의 발과 바닥면과의 접촉형태 및 운반대차 바퀴와 바닥면과의 접촉형태 및 물리적 계수는 기존의 문헌(Pan et al., 2004)을 참조하여 접촉 힘을 설정하였다. 그리고 운반대차 손잡이와 손과의 접촉형태는 본 연구에 사용하는 소프트웨어에서 제공하는 Bushing 힘을 이용하여 고정하였다(Lee, 2006).

2) 운반 작업자의 요추부 압축력

4종류 운반대차를 이용한 운반 작업자의 요추부에 작용하는 압축력은 그림 8와 표 8과 같다. 중량물이 적재되어 있지

Table 8 Force at Lumbo-sacral (L5/S1) Joint

Items		Specifications							
		Wheelbarrow		Trolley		2Wheel Cart		4Wheel Cart	
		0 kg	80 kg	0 kg	80 kg	0 kg	80 kg	0 kg	80 kg
Compression Force (N)	Max	975.50	1292.67	642.18	1210.26	696.62	1093.29	416.11	565.16
	Mean	363.21	487.56	370.90	300.99	425.07	595.12	225.54	372.31
	Min	-55.27	-103.05	123.31	-341.35	-73.64	-199.89	71.91	249.90
Lateral Shear Force (N)	Max	152.71	676.04	176.54	747.06	153.46	794.06	120.59	120.36
	Mean	2.42	22.47	61.23	54.38	34.72	49.76	9.87	-7.73
	Min	-534.17	-739.63	-76.46	-611.51	-51.66	-725.03	-116.19	-140.61
Anterior Shear Force (N)	Max	433.32	202.96	108.06	204.22	57.35	74.38	4.85	-37.45
	Mean	-39.04	-16.77	-9.26	-55.96	-5.93	-37.45	-42.44	-87.35
	Min	-551.32	-171.73	-123.20	-347.54	-66.05	-160.78	-101.65	-164.15

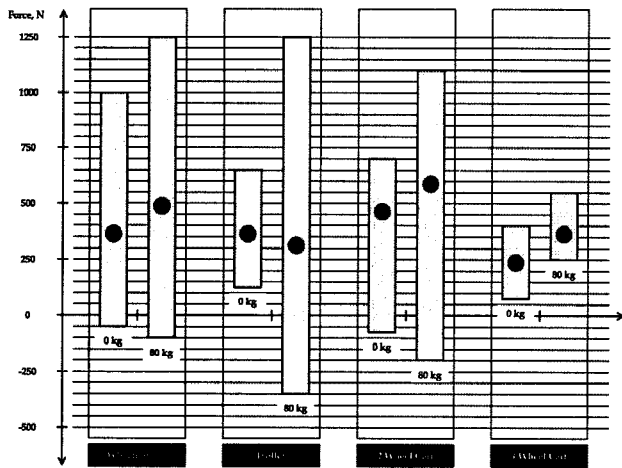


Fig. 8 Compression Force at Lumbo-sacral (L5/S1) Joint.

않는 경우 요추부에 작용하는 최대 힘은 1륜차, 트롤리, 2륜차, 4륜차 작업자 각각에 975.50, 642.18, 696.62, 416.11N 이며, 80kg 중량물 적재시에는 1292.67, 1210.26, 1093.29, 565.16N 이다. 그리고 중량물이 적재되어 있지 않는 경우 요추부에 작용하는 평균 힘은 1륜차, 트롤리, 2륜차, 4륜차 작업자 각각에 363.21, 370.90, 425.07, 225.54N 이며, 80kg 중량물 적재시에는 487.56, 300.99, 595.12, 372.31N 이다. 중량물이 증가함에 따라 허리 요추부에 작용하는 최대힘과 평균 힘은 중량물이 증가함에 따라 증가하는 경향이 보였다. 하지만, 4종류 운반대차 모든 경우 미국 국립산업안전보건연구원 (NIOSH)에서 제시한 허리요추부 부상을 유발하는 기준치인 압축력 3410N보다는 낮은 수치를 나타냈다(McGill, 1997; Marras, 2000). 따라서 운반대차를 이용한 작업으로 인한 요통유발 위험성은 높지 않다. 하지만, 일반적인 농작업이 반복적이고 비정규적이며 시간의 제약을 받는 작업특성을 가지고 있으며, 협소한 작업공간에서 이뤄짐으로 인해 부적절한 작업자세가 발생되며, 지면상태가 불량한 작물위주의 작업환경 등의 요인으로 인해 근골격계 질환 위험도가 높아진다 (Chisholm et al., 1992).

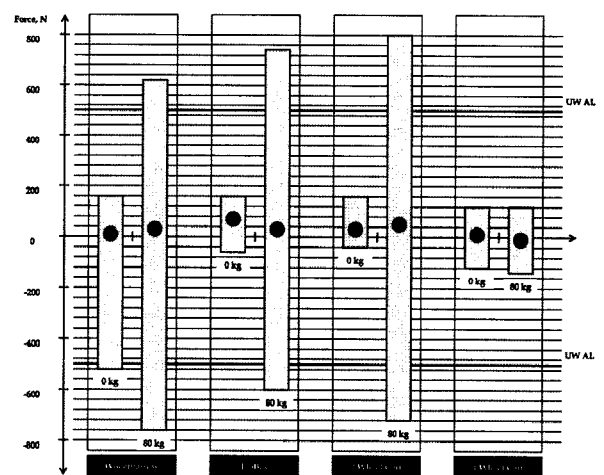


Fig. 9 Lateral Shear Force at Lumbo-sacral(L5/S1) Joint.

UW AL : University of Waterloo action limits for shear force at lumbo-sacral joint.

3) 운반 작업자의 요추부 측방 전단력

4종류 운반대차를 이용한 운반 작업자의 요추부에 작용하는 측방(내측(-), 외측(+)) 전단력은 그림 9와 표 8과 같다. 중량물이 적재되어 있지 않는 경우 요추부에 작용하는 최대 힘은 1륜차, 트롤리, 2륜차, 4륜차 작업자 각각에 152.71, 176.54, 153.46, 120.59N 이며, 80kg 중량물 적재시에는 676.04, 747.06, 794.06, 120.36N 이다. 그리고 중량물이 적재되어 있지 않는 경우 요추부에 작용하는 평균 힘은 1륜차, 트롤리, 2륜차, 4륜차 작업자 각각에 2.42, 61.23, 34.72, 9.87N 이며, 80kg 중량물 적재시에는 22.47, 54.38, 49.76, -7.73N 이다. 그리고 중량물이 적재되어 있지 않는 경우 요추부에 작용하는 최소 힘은 1륜차, 트롤리, 2륜차, 4륜차 작업자 각각에 -534.17, -76.46, -51.66, -116.19N 이며, 80kg 중량물 적재시에는 -739.63, -611.51, -725.03, -140.61N 이다. 중량물이 증가함에 따라 허리 요추부에 작용하는 최대힘과 최소 힘은 중량물이 증가함에 따라 증가하는 경향이 보였다. 4륜차를 제외한 나머지 운반대차의 경우, 캐나다 워털루대학(Uni-

versity of Waterloo, Canada)에서 제시한 허리 요추부 부상을 유발하는 기준치인 전단력 500N보다는 높은 수치를 보여 주었다(Yingling and McGill, 1999). 따라서 운반대차를 이용한 운반작업으로 인한 요통유발 위험성이 높다.

4) 운반 작업자의 요추부 전, 후방 전단력

4종류 운반대차를 이용한 운반 작업자의 요추부에 작용하는 전, 후방 전단력(전방(+), 후방(-))은 그림 10과 표8과 같다. 중량물이 적재되어 있지 않는 경우 요추부에 작용하는 최대 힘은 1륜차, 트롤리, 2륜차, 4륜차 작업자 각각에 433.32, 108.06, 57.35, 4.85N 이며, 80kg 중량물 적재시에는 202.96, 204.22, 74.38, -37.45N 이다. 그리고 중량물이 적재되어 있지 않는 경우 요추부에 작용하는 평균 힘은 1륜차, 트롤리, 2륜차, 4륜차 작업자 각각에 -39.04, -9.26, -5.93, -42.44N 이며, 80kg 중량물 적재시에는 -16.77, -55.96, -37.45, -87.35N 이다. 그리고 중량물이 적재되어 있지 않는 경우 요추부에 작용하는 최소 힘은 1륜차, 트롤리, 2륜차, 4륜차 작업자 각각에 -551.32, -123.20, -66.05, -101.65N 이며, 80kg 중량물 적재시에는 -171.73, -347.54, -160.78, -164.15N 이다. 1륜차의 경우, 캐나다 워털루대학(University of Waterloo, Canada)에서 제시한 허리 요추부 부상을 유발하는 기준치인 전단력 500N보다는 높은 수치를 보여 주었다(Yingling and McGill, 1999). 물건을 적재한 경우보다 적재하지 않은 경우에 전, 후방 측방력이 크게 나온 이유는 운반대차를 잡는 팔 동작으로 인한 것이다. 외발수레의 경우, 운반하중의 무게가 무거워 질수록 작업자는 손잡이를 몸으로 가까이 끌어, 운반대차의 무게중심이 몸에 가깝도록 유도한다. 따라서 허리에 작용하는 측방력이 줄어들게 된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 농작업 현장에서 이용되는 4종류의 운반대차를 이용하는 작업자의 요추부의 근골격계 질환 위험도를 정량적으로 평가하였고, 문헌에 제시된 압축력 및 전단력 기준에 의거하여, 수확물 운반 작업에 널리 쓰이는 4종류의 운반대차 작업자의 요추부 근골격계 위험도를 평가하였다.

- (1) 인체모델의 유용성을 검증하기 위해서 보행실험과 들기 실험을 대상으로 평가하였으며, 평가인자 즉, 절대치, 상대치 및 상관계수 모두 문헌에서 제시한 기준내에 포함되어 유용성이 검증되었다.
- (2) 검증된 인체모델을 이용하여, 4종류 운반대차 작업자의 허리 요추부의 압축력 및 전단력을 평가하였다. 요추부 압축력의 경우 4종류 운반대차 작업자 모두 기준치를 초과하지 않았지만, 요추부 측방 전단력의 경우 4륜차를 제외한 모든 운반대차에서 기준치를 초과했다. 그리고 요추부 전방 전단력의 경우 1륜차 작업자가 기준치를 초과하였다. 이는 작업자가 운반작업시 운반대차의 좌, 우 균형을 잡으며, 미는 작업으로 인한 것으로 판단된다.
- (3) 운반대차를 이용한 운반작업에서 작업자의 요통을 유발하는 생체역학적 요인으로는 요추부에서의 압축력보다는 전단력이 문제가 된다. 따라서 향후 운반대차의 설계 및 평가시에는 요추부의 근골격계 질환 발생 위험성을 저감하기 위한 방안으로 요추부 전단력에 대한 고려가 필요하다.

참고 문헌

1. Chisholm, C. J., D. J. Bottoms, M. J. Dwyer, J. A. Lines and R. T. Whyte. 1992. Safety, health and hygiene in agriculture. *Safety Science* 15(4-6):225-248.
2. Choi, J. W., H. Seol and K. H. Ryu. 1997. Effects of the experimental vehicles on the greenhouse worker's workload. *The Korean Journal of Community Living Science* 8(1):7-13.
3. Gilchrist, L. A. and D. A. Winter. 1997. A multi-segment computer simulation of normal human gait. *IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering* 5(4):290-299.
4. Haisman, M. F., F. R. Winsmann and R. F. Goldman. 1972. Energy cost of pushing loaded handcarts. *Journal of Applied Physiology* 33(2):181-183.
5. Haisman, M. F. and R. F. Goldman. 1974. Effects of terrain on the energy cost of walking with back loads and handcart loads. *Journal of Applied Physiology* 36(5):545-548.
6. Hoozemans, M. J. M., A. J. van der Beek, M. H. W.

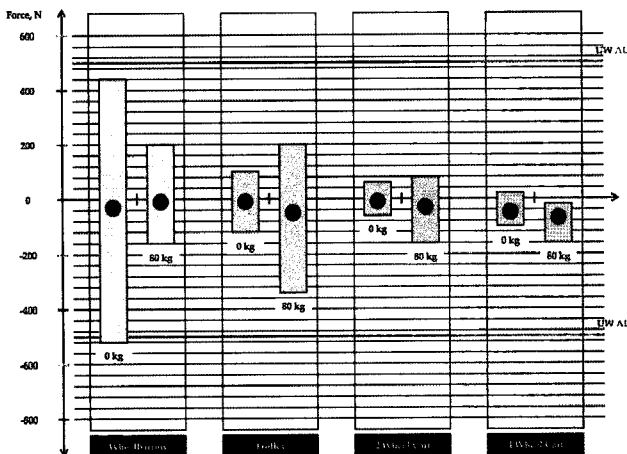


Fig. 10 Anterior Shear Force at Lumbo-sacral(L5/S1) Joint. UW AL : University of Waterloo action limits for shear force at lumbo-sacral joint.

- Fringsdresen and L. H. V. van der Woude. 1998. Pushing and pulling in relation to musculoskeletal disorders: a review of risk factors. *Ergonomics* 41(6):757-781.
7. Jung, M. C., J. M. Haight and A. Freivalds. 2005. Pushing and pulling carts and two-wheeled hand trucks. *International Journal of Industrial Ergonomics* 35:79-89.
 8. Jung, D. H. 1997. Basic Statistics. Bach-san Seo-dang, Seoul, Korea.
 9. Kingma, I., M. P. de Looze, J. H. van Dieën, H. M. Toussaint, M. A. Adams and C. T. Baten. 1998. When is a lifting movement too asymmetric to identify low-back loading by 2-D analysis. *Ergonomics* 41(10):1453-1461.
 10. Kim, K. R. 2008. A Study on the Farmers' Health Status and Musculo-skeletal Workload. Ph.D. thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
 11. Kim, K. R. and J. W. Choi. 2005. Disease, accident and health behavior of in farmers and fishermen. *Journal of Agricultural Medicine & Community Health* 30(3):279-292.
 12. Kim, K. S., K. R. Kim, H. C. Kim and K. S. Lee. 2006. Risk assessment and symptoms of musculo-skeletal disorders in melon farm workers. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene* 16(4):385-397.
 13. Kumar, S. 1990. Cumulative load as a risk factor for back pain. *Spine* 15:1311-1316.
 14. Lee, K. 2006. CAD system for human-centered design. *Computer-Aided Design & Applications* 3(5):615-628.
 15. Lee, S. S., Y. H. Kim, A. R. Choi and J. H. Mun. 2008. A study on ergonomics design of wheelbarrow for melon farm on protected horticulture. *Journal of Biosystems Engineering* 33(3):157-166.
 16. Lim, D. S., K. S. Lee, H. R. Koo, K. R. Kim and K. H. Kang. 2006. A survey and analysis on the melon farmer's usage of the harvest carrier. *Proceeding on Spring Conference of Korean Journal of Community Living Science* 5:119.
 17. Mack, K., C. M. Haslegrave and M. I. Gray. 1995. Usability of manual handling aids for transporting materials. *Applied Ergonomics* 26(5):353-364.
 18. Marras, W. S., K. P. Granta and K. G. Davis. 1999. Variability in spine loading model performance. *Clinical Biomechanics* 14:505-514.
 19. Marras, W. S. 2000. Occupational low back disorder causation and control. *Ergonomics* 43:880-902.
 20. Mathisson, B., A. Ingelgard, M. I. Johnsson and K. Nonas. 1994. Mechanical aids in manual materials handling - technical context and attitudes. In McFadden S, Innes L and Hill M (eds). *Proceedings of the 12th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Toronto, 15 - 19th August 1994, Vol 4.* pp. 33-37. Human Factors Association of Canada, Mississauga, Ontario.
 21. McGill, S. M. 1997. The biomechanical of low back injury - Implications on current practice in industry and the clinic. *Journal of Biomechanics* 30(5):465-475.
 22. Pan, C. S., K. M. Miller, C. Sharon and John A. Wu. 2004. Evaluation of a computer-simulation model for human ambulation on stilts. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology* 4:283-303.
 23. Sillanp, A. A., J. J. Lappalainen, A. Kaukiainen, M. Viljanen and P. Laippala. 1999. Decreasing the physical workload of construction work with the use of four auxiliary handling devices. *International Journal of Industrial Ergonomics* 24:211-222.
 24. Wojtyra, M. 1999. Dynamical simulation of human walking. *Proceedings of Tenth World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms*, pp. 1853-1858. Oulu, Finland.
 25. Yingling, V. R. and S. M. McGill. 1999. Anterior shear of spinal motion segments. Kinematics, kinetics, and resultant injuries observed in a porcine model. *Spine* 24:1882-1889.