

반복적인 들어올리기 작업시 작업자의 생체정보, 인체활동량 및 허리부하 분석

손현목 선우훈 임기택 김장호 정종훈

Analysis of Physiological Bio-information, Human Physical Activities and Load of Lumbar Spine during the Repeated Lifting Work

H. M. Son H. Seonwoo K. T. Lim J. H. Kim J. H. Chung

Abstract

Workers in the agricultural industry have been exposed to many work-related musculoskeletal disorders. So, our objectives in this study were to measure and analyze worker's physiological bio-information to reduce musculoskeletal disorders in relation to agricultural works. We investigated worker's bio-information of physiological signals during the repeated lifting work such as body temperature, heart rate, blood pressure, physical activity, and heart rate variability. Moreover, we analyzed the workloads of lumbar spine during the repeated lifting work using the 3-axis acceleration and angular velocity sensors. The changes of body temperature was not significant, but the mean heart rate increased from 90/min to 116/min significantly during 30 min of repeated lifting work ($p < 0.05$). The average worker's physical activity(energy consumption rate) was 206 kcal/70kg/h during the repeated lifting work. The workers' acute stress index was more than 80, which indicated a stressful work. Also, the maximum shear force on the disk (L5/S1) of a worker's lumbar spine in static state was 500N, and the maximum inertia moment was 139 N·m in dynamic state.

Keywords : Repeated lifting work, Bio-information, Physical activity, Acute stress index, Lumbar spine workload

1. 서론

다양한 농작업에서 기계화 및 자동화가 도입되었지만, 아직까지도 많은 농작업들이 인력에 의한 운반 작업으로 이루어지고 있다. 근 골격계 질환(Musculo Skeletal Disorders, MSDs)을 야기하는 다양한 운반 작업의 유형들이 보고되고 있으나 이 중 반복적인 들어올리기작업은 농작업에서 대표적으로 발생할 수 있는 작업 유형으로 흔히 수확한 과채류를 적재하거나 비닐 하우스등과 같은 좁은 작업장에서 물체를 운반할 때 주로 발생할 수 있는 농작업이다. 특히 허리를 굽혔다 펴는 동작은 농작업 자세의 총 76%를 차지하기 때문에

이에 대한 분석은 농작업의 인간공학적 설계에 있어 매우 중요한 변수로 나타내고 있다. 이처럼 인력에 의한 운반 작업시 과중한 중량물을 취급하는 것은 직업성 근골격계 질환을 유발시키는 주요 요인으로 보고되고 있다. 따라서 농작업시 이러한 근골격계 질환의 예방하고 개선하기 위한 생체정보 측정시스템의 개발이 요구되어지고 있다(van Wely, 1970; Kraus et al., 1997).

Kroemer(1989)등에 의하면 작업 환경적 요인과 작업자세가 근골격계 질환에 큰 관련성을 가진다고 발표하였고, Nam 등(1976)은 고온 환경에서의 장시간의 농작업에 따라 심박수, 혈압 등의 생리학적 신호가 변하고 이에 의해 농부중

This study was conducted by the Rural Development Administration, the Republic of Korea. The article was submitted for publication on 2010-07-17, reviewed on 2010-09-03, and approved for publication by the editorial board of KSAM on 2010-09-24. The authors are Hyun Mok Son, Ki Taek Lim, Hoon Seonwoo, graduate students, Jang Ho Kim, former graduate student, Seoul National University, Jong Hoon Chung, Professor, Dept. of Biosystems & Biomaterials Science and Engineering, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Republic of Korea. The Corresponding author is J. H. Chung, Professor, Dept. of Biosystems & Biomaterials Science and Engineering, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea; Tel & Fax: +82-2-880-4601; E-mail: <jchung@snu.ac.kr>.

(farmers' syndrome)이 유발된다고 발표하였다. 또한 Park 등(1988)은 작업 환경에 따라 심박수, 혈압 등의 생체신호변화에 큰 영향을 미친다고 발표하였다. 따라서 인간공학적인 작업 스트레스 분석을 위한 많은 선행 연구들이 이루어져오고 있다. Karhu 등(1977)은 OWAS (Ovako Working-posture Analysis System)를 이용한 관찰자적 자세평가 지표를 고안하였다.(McAtamney and Corlett, 1993) RULA (Rapid Upper Limb Assessment)를 이용하여 보다 빠른 분석이 가능한 상지 자세 평가방법을 고안하였다. Hignett와 McAtamney, 1995은 더 나아가서 전신에 걸쳐 빠른 평가가 가능한 평가지표인 REBA (Rapid Entire Body Assessment)를 고안하였다. Guanyan Li와 Peter Buckle(1999)은 체크리스트 기반의 작업성 근골격계 평가 기법 중 하나인 QEC (Quick Exposure Check)를 고안하여 작업성 근골격계에 자세가 미치는 영향을 평가하려는 시도를 하였다. 위와 같은 관찰자적 평가 방법들은 관찰자의 주관도와 피험자의 주관도가 개입될 수밖에 없는 정성적인 평가 방법들이기 때문에 이러한 한계를 극복하고자 정량적인 평가에 대한 연구가 꾸준히 수행 되고 있다. Jorna(1992)는 심박간 변이도를 이용하여 스트레스지수와 작업부담간의 관계를 정량적으로 규명하고자 시도하였고, Akihiko 등(1997)은 각속도센서를 이용하여 몸통에 회전을 모니터링 하는 정량적 분석 방법들을 제시하였다. Gallagher 등(2002)은 EMG(Electromyogram)와 허리움직임 모니터(LMM: Lumber Motion Monitor)와의 비교분석을 통한 움직임과 생리학적 신호간의 정량적인 비교분석을 시도하였다. Brage 등(2005)은 인체의 움직임에 따르는 활동량과 생리학적 신호인 심박수의 관계를 규명하고 이를 측정하기 위한 시스템을 구축하는데 현장 적용이 가능하도록 설계하는 연구를 수행하였다. 정량적인 객관성을 확보한 데이터를 이용하여 피험자의 불편도와 스트레스 변수를 파악하려는 시도가 현재 지속적으로 이어져 오고 있다.

특히, 반복적인 들어올리기 작업은 농작업현장에서 가장 빈번하게 일어나는 자세임에도 불구하고 이에 따른 작업자의 생체정보와 허리부하를 정량적으로 측정할 연구는 매우 미비하다. Kim 등(1994)은 반복적인 들어올리기 작업에서 작업 자세와 시간이 근력변화에 미치는 영향을 규명하고자 하였고, Kim 등(2009)은 반복 들기 작업에 따른 허리주면 근육은 근활성도와 근피로도에 대한 근전도 분석을 하였다. 또한, Lee 등(2008) 상지 반복 작업에 따른 심박수를 측정 하였다. 하지만 반복적인 들어올리기 작업 시 작업자의 체온, 맥박, 심박수 등의 생체정보와 신체활동량 및 작업 부하를 종합적으로 측정 및 분석한 연구는 지금까지 행해지지 않고 있다. 따라서 본 연구는 작업현장에서 작업자의 생체정보와 허리부하를 정량적으로 측정할 수 있는 생체정보 측정시스템을 구성하고, 구성된 시스템을 이용해 작업중 가장 빈번하게 일어

나는 자세인 반복적인 들어올리기 작업에서 체온, 맥박, 심박수 등의 생체정보, 신체활동량 그리고 허리의 동적 및 정적 부하를 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 생체정보 측정시스템 구성

작업에 따른 생체정보를 측정하기 위한 생체신호, 신체활동량 및 스트레스지수 측정 장치로 구성된 생체정보 측정시스템은 다음과 같다.

1) 생체신호 측정

작업에 따른 심박수의 변화량은 폴라 RS40 (Polar RS400, USA) (Fig. 1B), 혈압과 맥박은 오실로메트릭 방식의 손목형 혈압계 (VOX-1, 중외제약, Korea) (Fig. 1C), 체온은 체온계 Set-300 (healthy living, Korea) 적외선 프로브를 이용한 귀속 체온 측정장치를 이용하였다.

2) 신체활동량 측정

3축 가속도센서로 구성된 활동량 측정 장치 Actical (Minimeter®, USA)을 이용해 신체 움직임에 따른 기본활동량을 측정하였다. 센서를 손목, 허리에 각각 부착하여 손목과 허리의 물리적인 움직임에 대한 기본활동량을 정량적으로 측정하였으나, 들어올리기 작업에서는 고정 위치에서 주로 손목이 사용되기 때문에 손목의 움직임으로 기본활동량을 측정하였다(Fig. 1C). 또한, 10 kg 박스를 들어 올리고 내려 놓은 작업이기 때문에 박스를 들어 올리고 내리는데 소요되는 에너지와 굵혔다 펴는 상체의 움직임에 대한 에너지소모량도 산출해 기본활동량에 더함으로써 총 신체활동량을 구하고자 하였다. 주어진 시간 동안 박스를 들어 올린 회수와 박스 이동 거리를 고려해 박스를 드는데 소요되는 일을 계산하였고, 들어올리고 내릴 때의 상체 움직임의 평균 토크와 구부린 회수를 고려해 상체의 에너지소모량도 구한 후, 이들을 손목의 기본활동량에 더해 작업자의 총 신체활동량을 산출하였다.

3) 각속도 측정 및 작업에 따른 허리부하 측정

1축 각속도센서인 XG1000 (썬마이크로인피니티, Korea)을 몸통의 무게중심의 위치에 부착하여 각속도를 측정하였다 (Fig. 1B). 이 단축 각속도센서의 결과를 광학식 3차원 동작 분석장치(Vicon™, Vicon, Oxford, UK)를 이용해 검증하였다. 각속도센서를 이용해 측정된 데이터를 이용하여 작업에 따른 몸통의 각가속도와 이에 따른 동역학적 및 정역학적 허리부하를 Margareta(2001) 등이 사용한 방법을 이용하여 산출하였다(Fig. 2).

4) 급성스트레스 지수 측정

작업에 따른 급성스트레스 지수 측정을 위하여 P-trainer ((주)맨텍, Korea)를 이용하였다(Fig. 1A). 급성스트레스 지수(acute stress index)는 심박수와 자율신경 균형도 값에 따른 다음의 식을 Choi 등(2007) 등이 만든 아래 식 (1)을 이용하여 구하였다.

$$ASI = \frac{(T_{LF/HF} + T_{HR})}{2} \quad (1)$$

where,

ASI : Acute stress index

$T_{LF/HF}$: A standard index of the autonomic nervous system balance rate, [LF/HF]

HF : A parasympathetic activation rate, [HF, High Frequency power (0.15~0.4 Hz) scale value of natural logarithm(ms²)]

LF : A sympathetic activation rate, [LF, Low Frequency power (0.04~0.15 Hz) scale value of natural logarithm(ms²)]

T_{HR} : A standard index of heart rate [beat per min., (bpm)]

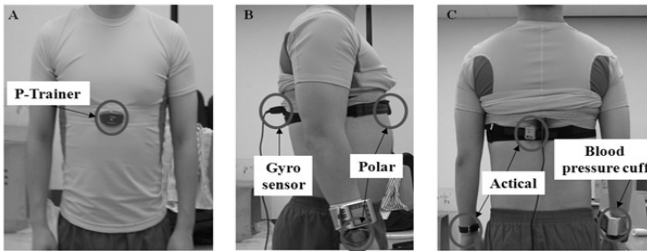


Fig. 1 The measurement system used in this study. This system consists of a heart rate monitoring sensor, a pulse monitoring sensor, an infrared thermometer, two physical activity measurement sensors, a gyroscope sensor, and a HRV measurement sensor, which were used for analysis physiological signal change and physical activity.

나. 들어올리기 작업에서의 생체정보 측정 및 해석

1) 작업자

본 연구에 참여한 작업자들은 신경계 질환 및 근골격계에 문제가 없는 신체 건강한 20대 남자 21명으로 구성하였으며, 이들의 평균 신체정보는 표 1과 같았다.

Table 1. Anthropometric data of the subjects (n=21)

Category	Mean	S.D.	Range
Age (years)	26.8	3.1	24~34
Height (cm)	177.6	5.8	169~186
Weight (kg)	73.4	9.4	63~100
Body mass index (BMI)	24.18	1.62	22~26

2) 실험방법

박스 들어올리기 작업에 따른 생체정보를 그림 1과 같이 구성된 생체정보 계측시스템을 이용하여 측정하였다. 본 실험은 실내(약 25°C) 환경에서 각각 들어올리기 작업을 하고 이에 따른 생체정보를 측정하였다. 들어올리기 작업을 위해 실험에 이용된 상자는 과수 따기 작업시에 흔히 이용되는 노란색 플라스틱 상자 (W52 × H37 × D32 cm)로 과수 상자의 평균적인 박스무게인 10 kg에 무게를 적재하여 실험하였다.

실험은 분당 20회 들어 올리고 내리기를 반복하여 총 30분간 같은 동작을 반복적으로 수행하였다. 피험자는 척추에 움직임 측정하기 위해 설계한 실험이기 때문에 실험 오차를 줄이고자 무릎은 굽힘없이 고정하고 허리의 굽힘만으로 들어 올릴도록 하였다. 실험에 사용된 박스의 무게는 총 10 kg이었으며 허리의 운동 형상학적 분석을 위해 박스의 위치를 고정되도록 하였다. 들어올리기 작업의 한 주기 동작은 먼저 바닥에 박스를 들어올려서 트럭 위에 싣는 과정처럼 1톤 트럭의 화물칸 높이인 78 cm 높이의 책상위로 박스를 들어올리고 다시 원위치로 돌려놓는 것이었다. 이 박스를 들어올리고 내리는 작업을 반복적으로 대칭자세로 메트로놈을 이용해 규칙적(symmetric lifting)으로 하는 경우와 자유로운 자세로 비규칙적(free lifting)으로 하는 2가지 방법으로 심박수와 신체 활동량을 분석하였다.

혈압은 최대수축과 최소이완시의 혈압을 측정하였고 맥박은 분당 평균 맥박수를 측정하였다. 혈압과 맥박은 측정하는데 안정적인 자세와 1분여 이상의 시간이 소요되기 때문에 총 30분간의 실험 동안 실험의 시작 전과 후 총 2회 측정하였다. 체온은 실험 중 5분 간격으로 실험 시작 전을 포함하여 총 7회 측정하여 기록하였다. 자이로센서는 몸통의 무게중심 위치에 고정시키고 몸통의 움직임을 측정하여 이에 따른 각 가속도와 허리의 동역학적 부하를 측정 및 분석하였다.

가) 허리의 정적 부하

측정된 신호를 바탕으로 그림 2와 같이 정역학적 계산을 통해서 부하를 산출했다. 또한 가슴에 P-trainer를 부착하여 급성스트레스 지수를 측정하였다. 온도 측정, 혈압 및 맥박 측정을 제외한 모든 계측신호들은 노트북컴퓨터에 저장되었다.

정역학적인 작업부하 산출을 위한 수식은 Nordin(2001) 등이 제시한 다음의 식 2, 3, 4를 이용하였고 동역학적인 요인을 고려하여 굴곡 또는 신전 시 최대 각가속도가 걸리는 지점에서의 수직에 대한 몸통의 기울어진 각도를 고려하여 θ 를 설정하였다. 식 (2)-(4)의 변수들은 그림 2에서 설명하는 변수들을 이용한 값들이다.

$$\begin{aligned} \sum M = 0, & (W \times L_W) + (P \times L_P) - (E \times L_E) = 0, \\ \therefore E = & \frac{(W \times L_W) + (P \times L_P)}{L_E} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\sum F_y = 0, W \times \cos \theta + P \times \cos \theta + E - C = 0, \quad (3)$$

$$\therefore C = W \times \cos \theta + P \times \cos \theta + E$$

$$\sum F_x = 0, W \times \sin \theta + P \times \sin \theta - S = 0, \quad (4)$$

$$\therefore S = W \times \sin \theta + P \times \sin \theta$$

where,

- W : The force produced by the weight of the upper body (N) : Approximately 65% of the force exerted by the total body weight
- P : The force produced by the weight of the object (N)
- E : The force produced by contraction of the erector spinae muscles (N)
- L_W : The lever arms of the forces produced by the weight of the upper body (m)
- L_P : The lever arms of the forces produced by the weight of the object (m)
- L_E : The lever arms of the forces produced by contraction of the erector spinae muscles (m)
- θ : The trunk angle when the maximum dynamic loading act on the disc (degree)
- C : The total compressive force acting on the disc (N)
- S : The shear component for the reaction force on the disc (N)

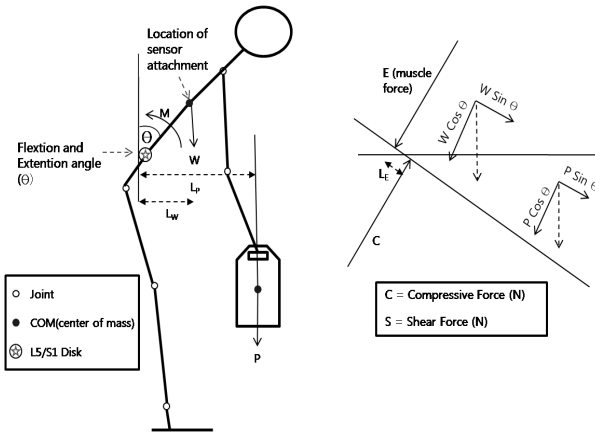


Fig. 2 Free-body diagram for calculation of the back load (static state): The force produced by the weight of the upper body (W), the force produced by the weight of the object (P), the force produced by contraction of the erector spinae muscles (E), the total compressive force exerted on the disk (C), the shear component of for the reaction force on the disk (S).

나) 허리의 동적 부하

30분 동안 반복적인 신기 실험 자세에 따라 허리에 미치는 부하를 측정하였다. 허리부하를 측정하기 위하여 각속도 센서를 등에 부착하였다 (Fig. 1B). 각속도센서를 통해 측정된

각속도를 미분하여 각가속도를 구하였다. 또한 선행연구로 측정된 관성모멘트를 이용하여 토크(Torque)를 구하였다 (Chandler et al., 1975).

그림 3에 주어진 관성모멘트는 앞서 언급한 Chandler, R.F 등이 피험자들의 인체측정치와 함께 구한 관성모멘트를 x, y, z 축을 기준으로 산출한 값들이다. 본 실험에 참여한 피험자의 신장과 몸무게를 고려하여 그림 3의 3번 피험자와 가장 유사한 것으로 가정하고 I 값 18063 (kg·cm²)을 이용하여 동적일 경우에 토크를 산출하였다.

$$T = I\alpha \quad (5)$$

where,

- T = Torque (Nm)
- I = Inertia moment (Nm · sec²)
- a = Angular acceleration (rad/sec²)

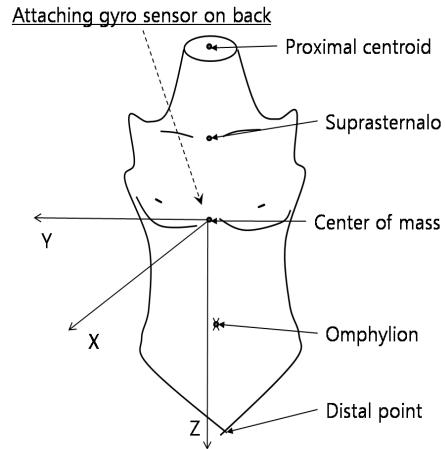


Fig. 3 Moments of inertia for calculation of the back load (Table A, B from Chandler, R. F et al. 1975).

Table A Anthropometry

Subject	1	2	3	4	5	6
Weight (kg)	30.631	41.060	46.182	26.828	28.005	31.262
Volume (ml)	36772	46301	50683	33887	33721	36487
Density	0.833	0.887	0.911	0.792	0.831	0.857
Torso length (cm)	65.6	69.5	71.7	67.0	61.8	63.1
Chest circle (cm)	94.0	101.4	105.5	83.1	98.5	93.2
Waist circle (cm)	81.3	87.3	93.3	73.5	78.3	81.2
Buttock circle (cm)	88.4	90.0	101.1	84.4	88.5	87.1
Chest breadth (cm)	33.4	37.9	37.0	29.0	34.1	33.8
Buttock breadth (cm)	33.5	34.6	37.6	33.0	36.5	33.8

Table B Principal moment of inertia (kg·cm²)

Subject	1	2	3	4	5	6
IXX	14436	20449	23142	13555	12464	13116
IYY	9315	14320	18063	9022	6635	7902
IZZ	2643	5008	6194	2302	3022	3541

3) 데이터처리 및 분석

모든 데이터는 계측장치마다 다른 표본 율을 가지고 있기 때문에 각각의 비교를 위하여 다운사이징 방법을 이용하였다. 통계학적 분석을 위해 SPSS소프트웨어 (Institute Inc, USA)를 사용하였으며 대응 표본 t-검정을 이용하여 피험자에 대한 실험 전과 후의 결과를 비교분석 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 체온 변화

실험실에서 반복적인 들어올리기 작업의 시간에 따른 귀속의 체온은 약 36.5°C 내외를 나타냈으며, 그 체온 변화는 그림 4와 같았다. 작업을 시작한 후 10분이 지나자 초기온도보다 약 0.3°C로까지 떨어짐을 확인할 수 있었고 이후의 시간에는 온도는 0.2-0.3°C의 차이를 보이며 수렴함을 확인할 수 있었다. 그리고 작업에서 작업자의 환경에 따른 지속적인 체온 측정은 다른 부위보다도 귀속에서 재는 것이 정확한 것으로 나타났다.

21명의 실험자에 의해 측정된 귀의 온도 변화를 볼 때 30분 동안의 반복적인 들어올리기에 따른 체온 변화는 거의 없음을 확인할 수 있었다 (P < 0.05). 이러한 체온 변화는 일상 생활의 건강한 사람의 경우와 같음을 확인할 수 있었다. 농작업 등의 격한 작업에 따른 급작스런 체온변화는 작업자의 스트레스 혹은 건강 이상을 아는데 있어서 하나의 인자로 간주될 수 있다.

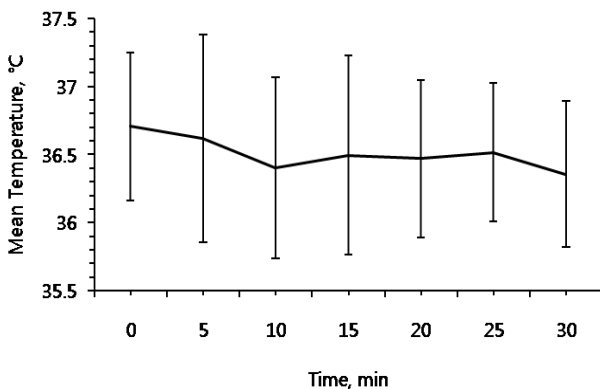


Fig. 4 Change of workers' mean ear temperature during 30 min of the lifting.

나. 맥박수 변화

30분 동안 반복적인 들어올리기 실험에 따른 맥박수의 변화를 측정하였다. 작업 전 맥박수는 68.27 ± 7.81 (beat/min) (n=18, loss: n=3) 이었으나 작업 30분 후의 맥박수는 84.80 ± 8.63 (beat/min) (n=18) 이었고 (p < 0.01)로 작업시간에 따

라 맥박수가 유의한 차이를 보이며 증가됨을 확인할 수 있었다. 즉, 작업에 따른 맥박의 변화는 스트레스 측정의 한 지수로 이용될 뿐 아니라, 작업시간과 작업 방법과 관련하여 휴식 시간 설정 등의 작업환경 개선에 대한 지표로 이용될 수 있을 것으로 사료되었다.

다. 심박수 변화

30분 동안 반복적인 들어올리기 실험에 따른 심박수의 변화를 측정된 결과 시작시 평균 90회/분(표준편차: 1.73)에서 평균 116회/분(표준편차: 6.24)로 증가됨을 알 수 있었다 (Table 2). 심박수 역시 맥박수와 마찬가지로 작업시간에 따라 심박수가 유의성 있게 증가함을 확인할 수 있었다 (p < 0.05). 또한 온도측정을 위해서 소요되는 약 1분여의 짧은 시간동안에도 심박수의 회복이 빠르게 나타남을 알 수 있었다. 작업자의 심박수 변화에 따라 작업의 강도 유무를 알 수 있었고, 작업자의 신체상태를 아는 데 중요한 인자임을 알 수 있었다. 이에 농작업의 여러 환경에서 작업시간에 따른 지속적인 심박수 변화 측정이 꼭 필요할 것으로 사료되었다.

Table 2. Change of workers' biophysical signals during the lifting work in a laboratory (n=18)

Biophysical signals	0 min	After 30 min
Pulse	68.33 ± 7.31 (beat/min)	84.80 ± 8.63** (beat/min)
Heart rate	90.00 ± 1.73 (beat/min)	116.00 ± 6.24* (beat/min)
Blood pressure	127.67 ± 11.02 mmHg(High)	127.67 ± 18.82 mmHg(High)
	79.67 ± 6.81 mmHg(Low)	75.67 ± 9.29 mmHg(Low)

*p<0.05, **p<0.01, compared to initial condition

그림 5는 들어올리기 자세에 따른 심박수의 변화를 관찰해 본 결과이다. 작업을 자유로운 자세로 들어올리기(free lifting work)와 규칙적으로 들어올리기(symmetrical lifting work)로 구분하여 비교해 본 결과, 대칭자세에서 반복적으로 들어올리기 동작은 움직임의 범위가 더 구체적으로 지정되어 있었기 때문에 비규칙적인 동작보다 규칙적인 심박수 변화를 관찰할 수 있었다. 그림 6의 활동량 변화와 연계해서 비교해 본 결과 작업의 활동 여부에 따라 심박수 변화와 연계성이 있음을 알 수 있었다.

이 (2008) 등은 본 연구와 비슷한 작업인 상지 반복 작업 시 심박수를 측정하였고 평균 심박수가 약 27회/분의 차이가 있음을 발표 하였다. 이에 반복적인 작업 후 33회/분의 심박수 차이를 보인 본 연구의 결과와 유사함을 알 수 있었다.

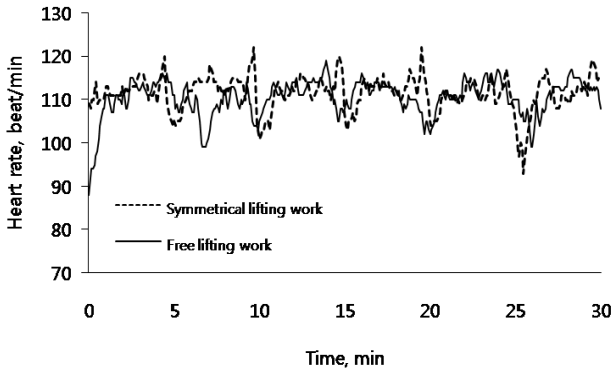


Fig. 5 Example on the change of a worker's heart rate during 30 min of the lifting work.

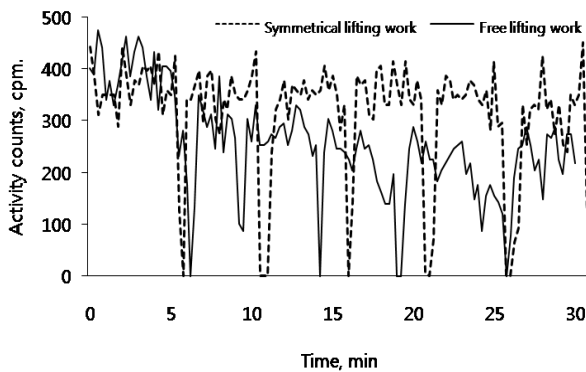


Fig. 6 Example on the change of a worker's activity counts during 30 min of the lifting work.

라. 신체활동량 변화 (에너지소모량)

30분(1분씩 휴식 총 5분 휴식 포함) 동안 반복적인 들어올리기 작업에서 3축 가속도계(Actical®)로 손목에서 신체활동량의 변화를 측정된 결과, 25분 동안 규칙적으로(4.5초/회) 박스를 들어올리고 내린 작업자의 평균 신체활동량은 0.040 kcal/kg/min (168 kcal/70kg/h)으로 나타났으며, 비규칙적으로 자유롭게 작업한 경우에는 작업자의 평균 신체활동량은 0.035 kcal/kg/min (147 kcal/70kg/h)로 나타났다. 이 신체활동량은 손목에 설치된 가속도센서로부터 얻어진 것으로서 손목의 움직임에 따른 신체활동량을 나타낸 것이다. 이에 10 kg의 박스 무게를 들어올리고 내린 작업에 소요되는 일량은 약 11 kcal/70kg/h이고, 상체를 굽히고 펴는데 소요되는 정적 및 동적 모멘트인 에너지소모량은 약 27 kcal/70kg/h 으로 산출되었다. 따라서 들어올리기 작업을 규칙적으로 한 경우 에너지소모량은 약 206 kcal/70kg/h 로 추정되었다.

이 에너지소모량은 기초 대사량(75 kcal/70 kg/h), 산책하는 데 소모되는 에너지소모량(약 198 kcal/65 kg/h)과 초보자의 테니스 운동시 에너지소모량(305 kcal/70 kg/h)과 비교되었다(Thermodynamics, Y.A. cengel et al, 2006). 그림 6에서와 같이 들어올리기 작업에서 작업 유무 및 작업 정도에 따

라 활동량의 변화를 알 수 있었다. 즉, 들어올리는 방식 및 자세에 따라서 활동량에는 약간의 차이가 보임을 확인할 수 있었다. 그림에서 작업중에 5분 간격으로 혈압을 재기 위해 1분씩 쉬었기 때문에 활동량이 0에 도달하였고, 비대칭 작업 중 힘든 경우에는 서서히 할 때에는 활동량이 낮게 나타남을 알 수 있다. 이는 상자의 중량과는 무관하게 들어 올리는 동작에서 가속도센서 부착위치의 움직인 거리, 속도와 연관되는 지수이기 때문에 올리고 내리는 일만 보았을 때 같은 일을 수행하였다 하더라도 동작의 범위에 따라서 활동량이 차이가 날 수 있음을 나타내준다. 따라서 이 3축 가속도계로 작업자의 움직임에 대한 기본 신체활동량(에너지소모량)을 예측할 수 있었고, 자이로센서를 이용해 상체의 회전운동에 대한 에너지소모량 그리고 작업자의 일량을 고려해 작업자의 총 신체활동량을 산출할 수 있었다. 이 총 신체활동량으로 작업의 강도 유무를 예측할 수 있으리라 생각된다.

마. 각속도센서의 검증

그림 7은 단순 들어올리기 작업에 몸통의 각속도 측정을 위해 사용된 각속도 센서 XG1000을 검증하기 위해 운동형상학적 검증에 흔히 이용되는 광학식 3차원 동작 분석장치(Vicon™)와 비교해 보았다. 광학적 3차원 동작 분석장치의 결과값이 변위로 측정되기 때문에 이를 속도로 변환하여 비교하기 위해 1차 미분을 수행하여 Vicon™의 데이터를 각속도로 주기의 회수로 나타내었다. 총 10회 단순 반복적인 들어올리기를 수행하는 동안에 주기가 동일했고, 침두값과 침하값이 동일한 시간에 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 Vicon과 가속도센서 간의 신호 패턴이 동일하다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 현장에서 측정하기 힘든 Vicon 대신 가속도센서가 현장실험 측정센서로서 적합하게 이용할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이로써 가속도센서를 이용해 상체의 각변위, 각속도 그리고 각가속도를 분석하여 상체의 움직임과 허리의 토크를 분석할 수 있었다.

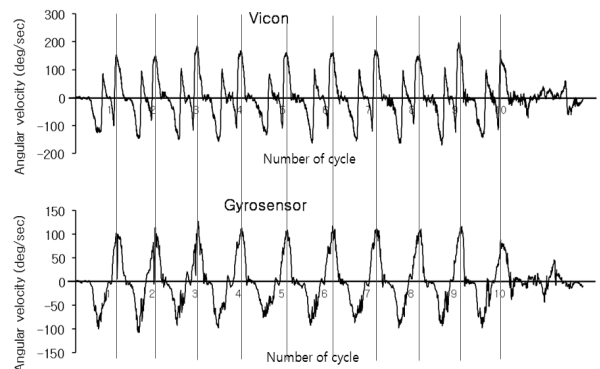


Fig. 7 Comparison of two collected signals of optical motion tracking sensor(Vicon™) and gyroscope sensor(XG1000™).

바. 각속도센서를 이용한 작업자 허리의 정적 및 동적 부하 분석

그림 8은 30분 동안 반복적인 물건 들어올리기 작업 자세에서 측정된 각속도를 나타낸 그래프이다. 중간에 1분씩 쉬는 구간이 확연히 구별되는 것을 알 수 있었다. 그림 8로부터 들어올리고 내리는 임의의 한 주기의 신호를 분리해 내어 약 4.5초 간의 한 주기에 대해서 적분법과 미분법을 이용하여 각변위와 각가속도를 나타내었다(Fig. 9).

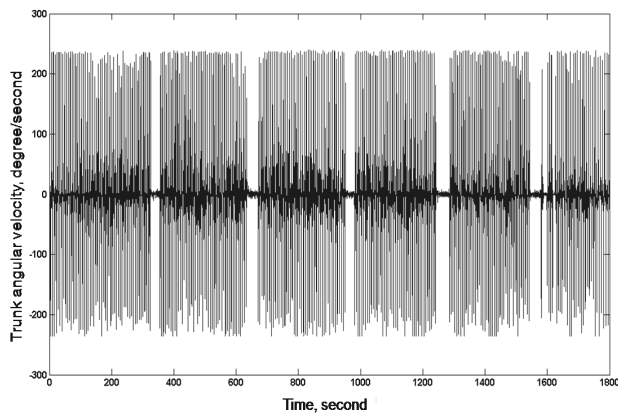
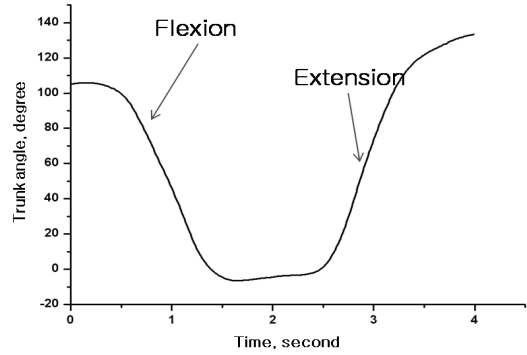


Fig. 8 Plots of angular velocity according to time in the lifting work during 30 min.

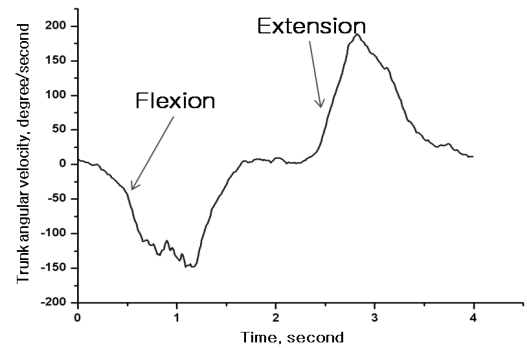
반복적인 물건 들어올리기 작업중 한 사이클의 작업에서 측정된 각속도를 이용해서 각도 변위와 각속도 그리고 각가속도를 그림 9에 나타내었다. 한 작업자가 허리를 굽힐시(굴곡시)에 허리에 미치는 최대 동적 관성모멘트는 수직 방향으로부터 80°인 지점에서 99 N·m이었고, 이때 최대 정적모멘트는 139 N·m이었으며, 이 두 모멘트를 합친 총 모멘트는 233 N·m 이었다. 이어 허리를 펼 경우(신전시)에 허리에 미치는 최대 동적 관성모멘트는 수직 방향으로부터 15°지점에서 60 N·m이었고, 이때 최대 정적 모멘트는 81 N·m이었으며, 이 두 모멘트를 합친 총 모멘트는 141 N·m이었다 (표 3). 즉, 허리를 펼 경우보다는 굽힐 시(수직 방향으로부터 80°인 지점)에 총 모멘트가 허리에 더 많이 작용하였다. 이에 신전시와 굴곡시의 허리 총 모멘트를 평균해 1회 들어올리기 작업시의 평균 모멘트(토크)를 산출하였다.

사. 급성스트레스 지수 (Acute Stress Index)

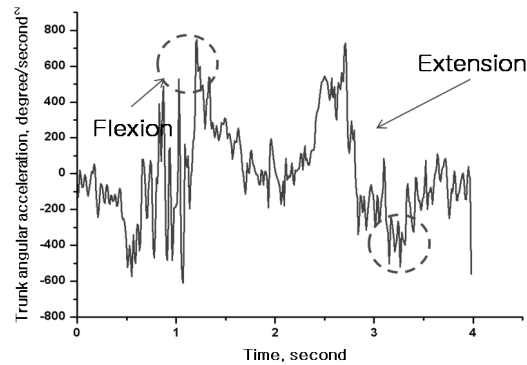
그림 10은 바이오 셔츠를 이용해 대표적인 한 작업자의 급성스트레스 지수를 나타낸 그림이다. 급성스트레스 지수는 3으로 거의 변화가 없었고, 체온 측정을 위해 잠시 동작을 멈출 때 80 이상으로 급격하게 증가됨을 보였다. 이같은 현상은 동일 작업에 대해 다른 작업자에게서도 같은 현상을 보였



(A)



(B)



(C)

Fig. 9 Plots of angular value(A), angular velocity(B), and angular acceleration(C) of a worker's trunk in one cycle of the 10 kg lifting work. ○: maximum dynamic load during the flexion and the extension.

Table 3. Change of dynamic and static moment of a worker's trunk in one cycle of the 10 kg lifting work

	Extension (15°)	Flexion (80°)
Maximum dynamic moment (N·m)	60	99
Maximum static moment (N·m)	81	139
Total moment (N·m)	141	233

다. 한국전자통신연구원(ETRI)의 연구결과에 따르면 심박간 변이도 (HRV) 계산식(식 1) 의해 70 이상의 급성스트레스 지수를 나타낼 때 이 사람은 갑작스런 스트레스 상태에 있다고 보고한 바 있다. 반복적인 작업시에 심박간변이도는 규칙

성 있게 나타나고 온도측정을 위해 잠시 멈춰있는 동안에 심박수가 평형상태로 되돌아오려고 변위 값이 큰 폭으로 변화하게 되어, 이러한 결과를 얻은 것으로 사료된다. 이는 물건 신기 작업을 계속으로 할 때에는 급성스트레스 지수가 매우 낮았으나, 작업을 중단하고 쉬는 순간에 변화하는 신체 각성도와 자율신경균형도의 변화가 급성스트레스지수 상승에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

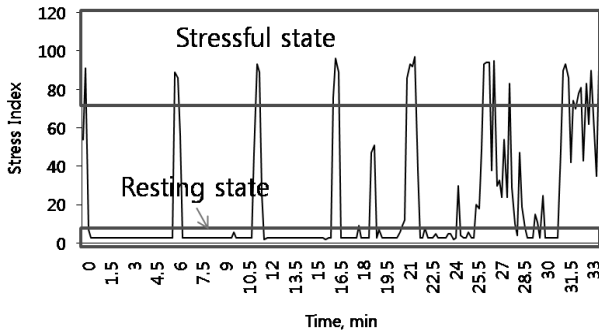


Fig. 10 Plots of a worker's stress index according to time in the lifting work during 30 min.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 작업자의 생체정보와 신체활동량 및 급성스트레스 지수를 측정하기 위한 생체정보 시스템을 구축하였고, 이를 이용해 10 kg 박스 들어올리기 작업에 적용하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같았다.

- (1) 심박수, 혈압, 맥박, 활동량, 움직임 등의 작업자의 생체정보를 측정할 수 있는 계측시스템을 구성하였다.
- (2) 30분 동안의 반복적인 들어올리기 작업시에 작업자의 체온은 약 36.5℃를 나타내었고, 작업중 체온 변화는 0.2-0.3℃를 나타내 별 차이를 보이지 않았다.
- (3) 반복적인 들어올리기 작업 시간에 따라 맥박 수는 초기 68회/분에서 84회/분으로 유의하게 증가하였고($p < 0.01$), 30분 작업 후 5분의 휴식으로는 정상적인 맥박으로 회복되지 않았다.
- (4) 반복적인 들어올리기의 심박수는 초기 90회/분에서 116회/분으로 작업시간에 따라서 유의하게 증가하였다($p < 0.05$).
- (5) 10 kg 박스를 반복적으로 들어올리기 작업시 한 작업자의 30분 동안의 평균 신체활동량은 0.049 kcal/kg/min (206 kcal/70kg/h)으로 나타났다.
- (6) 반복적인 들어올리기 동작에서 각속도센서를 이용하여 한 작업자의 허리디스크에 걸리는 부하를 계산해본 결과, 굴곡시 15°에서 최대로 총 141 N·m, 신전시 80°에

서 최대 총 233 N·m 으로 나타났다.

- (7) 한 작업자의 반복적인 들어올리기 동작에서 심박수와 심박간변이도(HRV) 변위에 기초한 급성스트레스 지수를 산출한 결과, 지속적인 작업이외에 온도를 재기 위해 움직임을 멈춘 1분여 시간동안 급성스트레스 지수는 80 이상으로 급격한 증가를 보였다. 즉 급성스트레스 지수는 순간적으로 심박수의 변화가 심한 상태에서 높게 나타났다.

참고 문헌

1. Akihiko, S. E. O. and U. D. A Shinichi. 1997. Trunk Rotation Monitor Using Angular Velocity Sensors. *Industrial health* 35:222-228.
2. Bozhokin, S. V., and I. M. shchenkova. 2008, Analysis of the Heart Rate Variability Using Stress Tests. *Human Physiology* 34(4):461-467.
3. Brage, S., N. Brage, U. Ekelund, J. Luan, P. W. Franks, K. Froberg and N. J. Wareham. 2006. Effect of combined movement and heart rate monitor placement od physical activity estimates during treadmill locomotion and free-living. *European Journal of Applied Physiology* 96:517-524.
4. Chandler, R.F., C. E. Clauser, J. T. McConville, H. M. Reynolds, and J. W. Young. 1975. Investigation of inertial properties of the human body. Technical Report AMRL-74-137, Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, Dayton, Ohio.
5. Choi, C. H., Y. J. Kim, T. H. Kim, Y. H. Ahn and D. R. Shin. 2008. Analysis of QRS-wave Using Wavelet Transform of Electrocardiogram. *Journal of Biosystems Engineering* 33(5):317-325. (In Korean)
6. Choi, J. M., B. H. Bae and M. C. Kim. The method to calculate the standard index using heart rate (R-R) interval variability. Korean Patent 10-0745972, 2007
7. Gallagher, S., W. S. Marras, K. G. Davis, and K. Kovacs. 2002. Effects of posture on dynamic back loading during a cable lifting task. *Journal of Ergonomics* 45(4):380-398.
8. Hignett, S., and L. McAtamney. 2000. Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics* 31:201-205.
9. Jorna, P. G. A. M. 1992. Spectral analysis of heart rate and psychological state: A review of its validity as a workload index. *Biological Psychology* 34:237-257.
10. Karhu, O., P. Kansil and I. Kuorinka. 1977. Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics* 8(3):199-201.
11. Kim, H. S., S. W. Choi, A. R. Yun, S. E. Lee, K. Y. Shin, J. I. Choi and J. H. Mun. 2009. Information Processing and

- Interdisciplinary Technology ; Muscle Fatigue Assessment using Hilbert-Huang Transform and an Autoregressive Model during Repetitive Maximum Isokinetic Knee Extensions. *Journal of Biosystems Engineering* 34(2):127-132. (In Korean)
12. Kim, S. H., M. K. Chung. 1994. The effects of posture and time on the change of muscle strength during repetitive dynamic lifting tasks. *Proceedingn of Korean Institute of Industrial Engineers Fall conference* 450-457.
 13. Kim, W. 2009. Electromyographic analysis of muscle activity and fatigue of the paraspinal muscles during a repetitive lifting task. *J. of Korean Physical Therapy (PTK)*, 16(3):16-23. (In Korean)
 14. Kraus, J. F., K. B. Schffer, D. L. McArthur, H. Cook, and S. Harris. 1997. Epidemiology of acute low back injury in employees of a large home improvement retail company. *American Journal of Epidemiology* 146(8):637-645.
 15. Kroemer, K. H. E. 1989. Cumulative trauma disorders: Their recognition and ergonomics measures to avoid them. *Journal of Applied Ergonomics* 20(4):91-99.
 16. Lee, I., R. Haslam and Y. W. Song. 2008. "Comparison of dfferent work/rest schedules of a repetitive upper-limb task based on perceived discomfort and heart rate. *J. of the KOSOS*. 23(5):119-124.
 17. M. Nordin and V. H. Frankel, *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*(Lippincott williams & wilikns, Philadelphia, USA, 2001), pp. 272-275.
 18. McAtamney, L., and E. N. Colett. 1989. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics* 20(4):274-280.
 19. Mzloum, Adel, Masahary Kumashiro, Hiroyuki Izumi, and Yoshiyuki Higuchi 2008. Quantitative Overload: a Source of Stress in Data-Entry VDT work induced by Time Pressure and work Difficulty. *Industrial health* 46:269-280.
 20. Nam, E. H., C. H. Choi, Y. J. Kim and D. R. Shin. 2008. Development of Pneumography Impedance Based Respirarion Measurement System Using Kalman Filter. *Journal of Biosystems Engineering* 33(5):326-332. (In Korean)
 21. Nam, T. S., H. K. Kim, O. H. Kwon and J. J. Lee. 1976. An epidemiological study on the Reasant's syndrome in rural Korea. *Korean Journal of Rural Medicine Korean* 5(1):16-27. (In Korean)
 22. Park, S. G., 1988. A Study on Change of Heart Rate and Systolic Blood Pressure in High Temperature Environment. *the Korean Journal of Physical Education* 27(2):282-290. (In Korean)
 23. Van Wely, P. 1970. Design and disease. *Applied Ergonomics* 1(5):262-268.
 24. Cengel, Y.A., M.A. Boles, 2006. *Thermodynamics*. McGraw-Hill, New York, USA.