Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 3 pp.17-24, August 2006

들기 작업에서 높이와 각도 변화가 발 부위에 미치는 스트레스에 관한 연구

여민우 · 이상도 · 이동춘

동아대학교 산업경영공학과

An Analysis of Stress on Foot by Lifting Height and Angle

Min Woo Yeo, Sang Do Lee, Dong Choon Lee

Department of Industrial and Management Systems Engineering, Dong-A University, Busan, 604-714

ABSTRACT

In this paper, we propose a stress analysis on foot by lifting task attitudes. Maximum force and peak pressure were measured on 8 body regions by Pedar system in order to analysis the stress which is affected by task style and angle on foot when Manual Materials Handling task. As for the peak pressure of the whole foot as to the task height during the lifting task, the height from Knuckle to Shoulder was the least in the peak pressure. Also, as for the maximum force and the peak pressure of the whole foot as to the task angle during the lifting task, it could be seen that the more an angle increases, the stress influencing on a foot jumps. As for the maximum force and the peak pressure by foot region as to the task height in case of the lifting task, the height from Knuckle to Shoulder is indicated the smallest value in the maximum force and the peak pressure, thus there is necessary to attain the work design that considered this. Also, as for the maximum force by foot region as to the task angle in case of the lifting task, 0° tasking is indicated to be least, thus there is necessity to be attained the tasking design in a bid to prevent the existence of an angle. The results of this paper are thought to be helpful to the suitable work design, to the prevention of musculoskeletal disorders related to the lower limbs, and to the design of ergonomic safety shoes.

Keyword: Foot, MMH, Maximum force, Peak pressure, Task height, Task angle, Lifting task, Safety shoe

1. 서 론

인력물자취급(Manual Materials Handling, 이하 MMH)이 요구되는 작업을 수행하는 작업자들은 부적절한 자세, 작업 강도, 정적 부하, 반복 작업 등으로 인한 육체적 피로의 누적을 통해 다양한 산업 재해에 노출되게 된다(Kilbom, 1994). MMH 작업으로 인한 육체적인 피로는 신체적 감각 체계들의 작용을 저하시켜 결과적으로 신체의 작업 자세 균형능력 저하로 이어진다(박재규, 박성하, 2004). 이로 인해 건설, 제조, 물류(운수), 컨베이어 벨트로부터 원자재를 운반하거나 적재하는 작업 분야 등의 MMH 작업이 빈번한 산업현장에서 육체적인 피로에 의한 신체의 작업 자세 균형능력 저하는 다양한 유형의 근골격계질환 뿐만 아니라 추락 및 전도 등의 상해에 주요 원인이 된다고 보고 있다(정성학, 김홍기, 1999; Holbein and Chaffin, 1997; Pan and Chiou, 1999). 또한, 산업 현장에서의 MMH 작업 중 과도한 작업부하와 잘못 설계된 작업 내용 및 환경에 의하여 복합적으로

교신저자: 여민우
주 소: 604-714 부산광역시 사하구 하단 2동 840번지, 전화: 051-200-6974, E-mail: mwyeo@donga.ac.kr

산업 상해가 빈번하게 발생하고 있다고 보고된다(노동부, 2003). Mahon(1978)은 비효율적인 물체 운반의 하중 부하가 하지나 허리의 부상을 유발시키며 생리적인 에너지 소모가 많다고 보고하고 있으며, 비효율적인 물체 운반은 신체의 불균형을 초래하여 상해를 유발시키므로 작업 환경의 과학적 설계가 필요하다라고 평가하고 있다(K. Son, 1988).

일반적으로 자연 상태의 발은 외부의 충격을 흡수하여 분산시켜주는 완충기능을 가지고 있으며, 신체 부분 중에서 하지는 인체의 모든 중량을 받쳐주는 곳이다. 또한 발은 신체 근골격계의 지주로서 보행과 운동 시 주어지는 힘과 체중을 지탱하는 인체의 주요 구조이며 이를 감싸는 신발은 하지의 자연스러운 동작을 뒷받침하여 발의 기능성을 보강해 주면서 장애를 줄여 주는 역할을 한다(Cavanagh, 1990). 그러나 발에 대한 일반인들의 인식 부족뿐만 아니라 작업 현장의 작업자들에게서도 유일하게 발을 보호해 주는 안전화를 착용하지 않거나 부적절한 설계에 의해 만들어진 안전화를 선택함으로 인해 다양한 상해사고에 노출되게 되는 경우가 빈번하게 발생된다. 그리고 작업 부하 및 부적절한 안전화의 선택으로 인한 생리적인 부하는 발에 피로뿐만 아니라 신체의 작업 자세 균형능력 저하를 유발시켜 하지의 상해 및 근골격계질환의 요인으로 작용하고 있다(박성하, 구준모, 2003).

안전화는 작업 현장에서의 위험 요소에 대한 발 부위의 보호가 주된 개발 목적이지만, 작업 시 발의 피로를 경감하고 안락함을 추구하여야 한다. 그러므로 이런 부작용을 개선하기 위한 안전화의 설계를 위하여는 생체역학적, 인간공학적인 연구가 필수적이다. 또한, 물건을 들어올리거나 운반하는 등의 하역 작업에 있어서 직접 또는 간접적으로 다리 부분이 불안정하여 작업 자세가 흐트러지고 균형이 깨짐으로써 상해를 초래하고 있다. 기존 연구에서는 지속적으로 불안정한 자세를 취할 경우나, 여러 요인들 중 작업 높이, 각도, 작업물의 중량 등으로 인한 부적절한 자세로 통해 육체적 피로를 유발시켜 근골격계질환에 미치는 영향의 크기와 정량화에 대한 연구는 많이 이루어지고 있으나, 다리 부위를 안정화시키고 스트레스를 감소하기 위한 작업 조건의 개선과 작업자의 피로를 최소화하기 위한 생체역학적이고 인간공학적인 안전화에 관한 연구는 아직 미비한 실정이다(여민우, 2004).

따라서, 본 연구에서는 들기 작업에서 다양한 작업 형태에 따른 작업 부하를 발 부위에 대한 실험 결과를 통하여 정량적으로 파악함으로써 발에 미치는 피로와 부담을 파악하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

실험에 참여한 피험자들은 과거와 현재 근골격계 관련 질환 및 발과 관련한 질환이 없었으며, 현재 정상적인 20대 남자 대학생 9명을 선정하였다. 전체 피험자의 평균 연령은 23.0±3.6세이고, 신장 및 몸무게의 평균은 각각 175.3±4.5[cm], 74.8±2.8[kg]이다. 실험에 사용된 안전화를 신을 수 있도록 본인의 신발 사이즈가 260~265인 피험자를 선정하였고, 피험자의 안전화 착용에 따른 발 부위 치수를 고려하기 위한 부위별 측정 결과는 표 1에 정리하였다.

표 1. 피실험자에 대한 인체계측치

Item	Mean	SD
Age(year)	23.0	3.6
Height(cm)	175.3	4.5
Weight(kg)	74.8	2.8
Instep Height(cm)	68.7	0.6
Heel Height(cm)	64.7	11.6
Ankle Girth(cm)	265.3	1.2
Calf Girth(cm)	400.7	15.0
Knee Height(cm)	467.7	9.1
Knee Girth(cm)	388.3	8.6
Foot Breadth(cm)	101.8	7.0
Foot Length(cm)	249.4	12.0

2.2 실험장비

2.2.1 안전화

먼저 국내에서 생산되고 있으며, 시장 점유율이 가장 높은 중작업용 안전화를 시험용으로 선정하여 작업 유형에 따른 인솔 부위의 압력분포를 조사한 예비실험 결과에 따라 다양한 작업 자세들에서 발바닥이 받는 충격으로 인한 인솔 부위의 압력분포가 가장 작다고 평가된 두 개의 국내 제품과 외국의 안전화 제조 규격을 만족하고 있고 시장 점유율이 높은 제품 두 개를 선정하였다(여민우, 2004).

2.2.2 들기 작업대

그림 1의 들기 작업대는 피험자의 인체특성에 따른 다양한 높이와 각도에 대한 작업 설계가 가능하며 작업대에 부착된 센서를 이용하여 작업 속도 및 빈도수를 제어할 수 있도록 고안되었다.

그림 1. 들기 작업대

2.2.3 압력분포 측정시스템

그림 2의 Pedar-Mobile Expert는 독일 Novel 사의 제품으로 발의 지면 접촉 시 압력분포를 측정하는 기자재이다. 자료의 수집은 최대 50[Hz]이며 Force-Platform에서 측정할 수 없는 변인인 발 전체에 걸리는 최대힘 뿐만 아니라 최대압력의 측정이 가능하며, 발의 영역을 지정하여 각 영역별 부위의 최대힘과 최대압력도 측정 가능하다.

그림 2. Pedar Insole 압력분포 측정시스템

2.3 실험변수 및 실험절차

본 실험에서는 9명의 피험자가 4가지 종류(SS1, SS2, SS3, SS4)의 안전화를 각각 신고 다양한 형태의 들기 작업 유형(작업 각도 3수준, 작업 높이 3수준)을 실시하여 그에 관련된 발 전체 최대힘과 최대압력 및 발 부위별(8 부분) 최대힘과 최대압력을 파악하였다. 들기 작업 시 사용된 중량물 무게는 23[kg]으로 1991년 NIOSH equation에서 최적의 조건일 때 산정될 수 있는 최대 RWL(Recommended Weight Limit)을 기준으로 설정하였다.

통제변수로는 상자의 크기(42.5[cm]×42.5[cm]×21[cm])를 고정하였으며, 피험자는 23[kg]의 운반 하중을 바닥 높이(Floor)에서 손바닥 중심 높이(Knuckle), 손바닥 중심높이(Knuckle)에서 어깨 높이(Shoulder) 그리고 바닥 높이(Floor)에서 어깨 높이(Shoulder)의 작업 유형과 시상 정중면을 중심으로 좌측으로 45도 또는 90도 몸통을 회전한 상태에서의 들기 작업을 랜덤하게 각각 실시하였다. 그에 따른 종속변수로는 안전화에 미치는 전체 최대힘(Maximum Force 이하, MF)과 최대압력(Peak Pressure 이하, PP) 그리고 8 부분의 발 부위에 따른 영역별 최대힘과 최대압력을 파악하여 발에 미치는 영향을 알아보았다. 다음의 내용을 표 2와 같이 정리하였다.

작업 각도와 작업 높이에 대한 전체 최대힘과 최대압력, 8개 부위별 최대힘과 최대압력에 대하여 비교 분석을 실시하였다. 각 비교 분석을 포함한 통계 분석은 SAS 8.1을 가지고 분석을 실시하였다.

표 2. 실험변수

Variables	Levels
Independent Variables	Type of Safety shoes(SS1, SS2, SS3, SS4)
	Work heights(3): Floor - Knuckle,
	Floor - Shoulder,
	Knuckle - Shoulder
	Task angles(3): 0°, 45°, 90°
Dependent Variables	Maximum Force, Peak Pressure
Control Variables	Lifting Task Container, Lifting Task Weight

3. 연구 결과

최대힘, 최대압력을 분석하기 전에 피험자의 체중을 비교하여 이들 사이에 상관관계가 높을 경우 표준화해야만 객관적인 비교가 가능하다. 그러나, 선행연구에 의하면 최대압력과 체중 사이에는 낮은 상관관계가 있기 때문에 표준화가 불필요하다고 하였다(곽창수, 1993). 따라서 본 연구에서는 별도로 자료의 표준화 과정을 거치지 않았다. 그리고 발바닥 전체에 걸리는 최대힘과 최대압력은 접지 동안 걸리는 힘이지만 작업 시 구체적으로 어느 부위에서 얼마만큼 걸리는 힘인지 알 수 없다. 압력분포 측정시스템은 색상을 이용하여 육안으로 쉽게 구분이 용이하도록 나타낼 수도 있고 압력의 크기에 따라 공간적 높이로서 3차원적으로 나타낼 수 있다. 그리고 정량적인 수치 데이터로도 변환이 가능하도록 되어

있다. 색상을 이용한 그래프는 단위 변환기로부터 감지한 압력(전압)을 임의로 설정한 역치 수준(threshold level)에 따라 등급을 나눈 후 여기에 가상 색상을 부여하는 것이다. 그러나 이와 같은 방법은 각 단위 변환기에 나타난 압력의 크기에 따라 역치 수준을 정할 때 급간의 범위를 너무 크게 하면 약간의 차이가 발생해도 같은 역치 수준 내에 포함되기 때문에 차이가 나타나지 않는 단점이 있다. 그래서 본 실험에서는 그래프로 나타난 실험 데이터를 정량적인 값으로 변환한 다음 그 수치를 가지고 정리하여 비교 분석하였다.

그리고 그림 3에서와 같이 신발이 지면과 접촉하였을 때 전 구간을 통하여 나타나는 발의 해부학적 분류에 의해 8개 부위로 나누어 평가를 실시하였는데 발바닥 전체를 후족 2부위(M1, M2), 중족 1부위(M3), 전족 2부위(M4, M5) 그리고 발가락 3부위(M6, M7, M8)로 구분하였다.

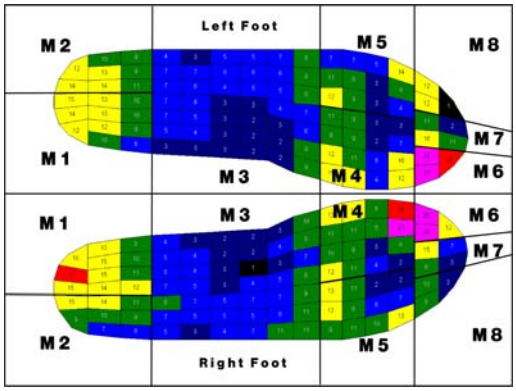

그림 3. 발바닥의 8 부위 해부학적 분류

3.1 발 전체의 평가

작업 활동의 경우에 하지에 관련된 골격근은 무거운 부하를 장시간 지탱하여야 하므로 신체적 피로가 누적되어 상해 유발 가능성이 높다고 하였다(이긍세, 1982). 또한 MMH 작업의 업무특성상 장시간 서서하는 작업과 보행 작업이 발 부위와 하지에 누적되어 발생되는 근골격계질환의 문제점들이 계속적으로 나타나고 있다. 이에 발 부위를 보호하기 위해 작업장에서 의무적으로 사용하고 있는 것이 안전화이다. 그러므로 다리 부위를 안정화시키고 스트레스를 감소하기 위해서는 작업 조건의 개선 뿐만 아니라 작업자의 피로를 최소화하기 위해 생체역학적이고 인간공학적인 안전화의 개발이 절실히 요구된다.

본 연구와 같은 인간공학적이고 생체역학적인 실험의 결과를 통하여 안전화를 신고 작업을 수행 시 피실험자들의 발 전체의 압력분포가 고르지 못하고 발 부위별에 따른 압력분포 또한 차이가 크다는 것을 알 수 있었다. 따라서 연구결과에 의해서 다양한 작업에 따른 안전화의 발 전체와 발 부위별 압력분포 등을 고려한 안전화의 설계가 절실히 요구된다. 다음에 실험의 연구 결과에 따른 결과치들을 표로서 정리하였다. 들기 작업에서 작업 높이에 대한 발 전체의 최대힘과 최대압력의 평균값은 표 3에 들기 작업에서 작업 각도에 대한 발 전체의 최대힘과 최대압력의 평균값은 표 4에 나타내었다. 3 수준 교호작용은 유의한 차이가 없으므로 오차항에 풀링을 실시하여 나타내었다. 들기 작업에서 발 전체에 대한 최대힘과 최대압력의 분산분석 결과는 표 5, 표 6에 나타내었다.

표 3. 작업 높이에 대한 발 전체의 최대힘과 최대압력의 평균값

TH	SS	MF(N)	PP(N/cm^2)
F-K	1	745.24	40.16
	2	672.76	35.78
	3	682.03	34.40
	4	620.70	27.56
F-S	1	713.61	38.19
	2	685.45	41.01
	3	678.54	36.52
	4	656.99	32.81
K-S	1	719.35	26.39
	2	673.42	28.46
	3	602.65	28.42
	4	624.86	23.12

표 4. 작업 각도에 대한 발 전체의 최대힘과 최대압력의 평균값

TA	SS	MF(N)	PP(N/cm^2)
0°	1	576.78	37.08
	2	536.74	37.25
	3	578.41	37.14
	4	565.66	27.82
45°	1	774.45	33.35
	2	750.19	35.50
	3	713.59	33.94
	4	677.30	28.41
90°	1	826.97	34.30
	2	744.71	32.50
	3	671.22	28.26
	4	659.60	27.24

표 3와 표 4를 보면 들기 작업 시 작업 높이에 대한 최대힘은 Floor에서 Shoulder까지 높이에 대한 작업이 Knuc-

표 5. 들기 작업에서 발 전체에 대한 최대힘의 분산분석 결과

Source	DF	SS	MS	F-Value	Pr>F
A	3	759134.4	253044.8	6.76	<.0001**
B	2	105055.8	52527.92	1.4	0.2467
C	2	3820184	1910092	51.01	<.0001**
D	1	7203047	7203047	192.34	<.0001**
A*B	6	191019.3	31836.54	0.85	0.5315
A*C	6	563612.1	93935.35	2.51	0.0209*
A*D	3	138296.7	46098.91	1.23	0.2976
B*C	4	45421.93	11355.48	0.3	0.8758
B*D	2	61084.55	30542.28	0.82	0.4429
C*D	2	958864	479432	12.8	<.0001**

A(안전화), B(작업 높이), C(작업 각도), D(왼쪽발, 오른쪽발)

표 6. 들기 작업에서 발 전체에 대한 최대압력의 분산분석 결과

Source	DF	SS	MS	F-Value	Pr>F
A	3	5588.894	1862.965	13.49	<.0001**
B	2	12960.97	6480.486	46.92	<.0001**
C	2	1952.086	976.0429	7.07	<.0001**
D	1	172.111	172.111	1.25	0.2648
A*B	6	1760.173	293.3622	2.12	0.0489*
A*C	6	1301.395	216.8992	1.57	0.1533
A*D	3	1744.355	581.4518	4.21	0.0058**
B*C	4	357.8425	89.46062	0.65	0.6287
B*D	2	20.09275	10.04637	0.07	0.9299
C*D	2	1308.672	654.3362	4.74	0.0091**

kle에서 Shoulder까지 높이에 대한 작업 보다 4% 더 높게 나타났다. 들기 작업 시 작업 높이에 대한 최대압력은 Floor에서 Shoulder까지 높이에 대한 작업이 Knuckle에서 Shoulder까지 높이에 대한 작업 보다 29% 더 높게 나타났다. 또한, Knuckle에서 Shoulder까지의 높이가 최대힘과 최대압력에서 가장 작게 나타나는 것으로 나타났다.

표 5와 표 6를 보면 들기 작업 시 작업 높이에 대한 발 전체의 최대힘(p<0.2467)은 유의한 차이를 보이지 않았으나 최대압력(p<0.0001)은 매우 유의한 차이를 보였다. 그리고 각각의 안전화에 대한 분산분석 결과를 보면 최대힘(p<0.0001)과 최대압력(p<0.0001)에 관해서 매우 유의한 차이를 보였다.

그림 4는 분산분석 결과에서 안전화와 작업 각도간의 교호작용을 나타낸 그림이다. 최대힘(p<0.0209)에 90° 작업에서 최대힘이 가장 작게 나타나는 SS4 안전화보다 최대힘이 가장 높게 나타나는 SS1 안전화가 25% 더 높게 나타났

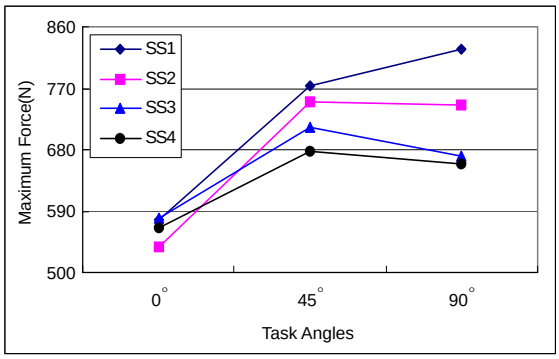

그림 4. 최대힘에 대한 안전화와 작업 각도간의 교호작용

다. 각도가 증가할수록 안전화에 따른 발 전체 최대힘도 함께 증가하는 것을 볼 수 있었다. 그러므로 작업 각도의 증가가 발에 나쁜 영향을 미치므로 들기 작업 시 작업 각도를 고려한 작업 설계가 이루어져야 할 것 같다. 이는 인체에 가중되는 체중과 작업 각도로 인한 발의 피로도를 최소한으로 줄여주므로 MMH 작업으로 인한 근골격계질환 및 부상으로부터 인체를 보호하고 부하를 줄일 수 있을 것이다. 또한 들기 작업 시 각도 작업이 발생하지 않도록 작업 환경을 개선해 주어야 할 필요가 있을 것 같다. 그리고 안전화에 따라서도 최대힘과 최대압력의 차이가 발생하므로 안전화의 설계 시 생체역학적이고 인간공학적인 연구를 기반으로 한 설계가 이루어질 필요성을 가진다고 할 수 있다.

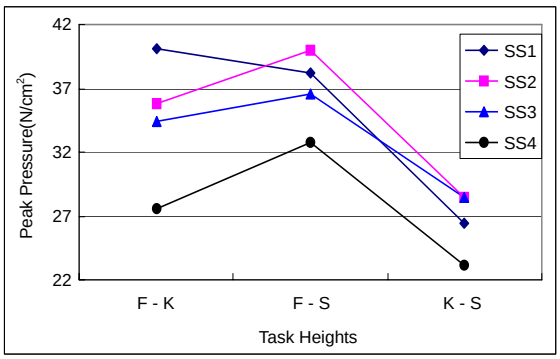

그림 5. 최대압력에 대한 안전화와 작업 높이간의 교호작용

그림 5는 분산분석 결과에서 안전화와 작업 높이간의 교호작용을 나타낸 그림이다. Floor에서 Knuckle까지 높이 작업에서는 최대압력(p<0.0489)이 가장 작게 나타나는 SS4 안전화 보다 최대압력이 가장 높게 나타나는 SS1 안전화가 48% 더 높게 나타났다. Floor에서 Shoulder까지 높이 작업에서는 최대압력이 가장 작게 나타나는 SS4 안전화 보다 최대압력이 가장 높게 나타나는 SS2 안전화가 28% 더 높게

나타났다. Knuckle에서 Shoulder까지 높이 작업에서는 최대압력이 가장 작게 나타나는 SS4 안전화 보다 최대압력이 가장 높게 나타나는 SS2 안전화가 22% 더 높게 나타났다. 작업 높이에 관해서는 Knuckle에서 Shoulder까지 높이 작업에서 모든 안전화의 경우에 최대압력에서 가장 작은 압력을 가지므로 들기 작업 시와 작업대 높이 설정 시 고려할 필요가 있을 것 같다.

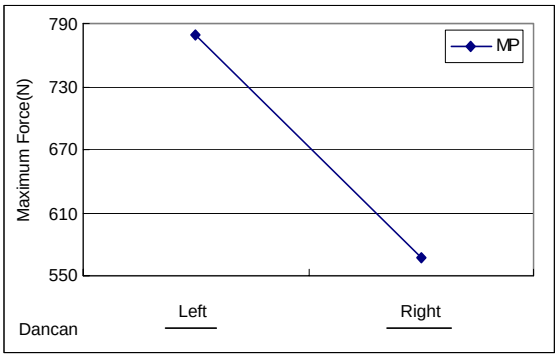

그림 6. 왼쪽발과 오른쪽발의 최대힘에 대한 평균값의 결과

그림 6은 MMH 작업 시 양발에 대한 최대힘을 나타낸 그림이다. 본 연구 실험에서 MMH 작업 시 왼쪽 작업을 실시하므로 통해 양발 중에서 특히 왼발 쪽에 많은 힘이 나타남을 알 수 있었다. 중량물로 통해서 체중이 중량물 방향 쪽으로 치우침으로 통해서 한 쪽 방향으로 크게 나타났다. 최대힘이 한 쪽 방향으로 치우치게 되면 상해에 위험이 크다고 볼 수 있다(부진후, 2000). 그러므로 물건 들기 작업 시 몸 중심이 한 쪽으로 치우치지 않게 작업 설계를 할 필요가 있다.

3.2 발 부위별 평가

실험 조건에 따른 안전화(SS1, SS2, SS3, SS4), 작업 높이(Floor~Knuckle 이하 F-K, Floor~Shoulder 이하 F-S, Knuckle~Shoulder 이하 K-S), 작업 각도(0°, 45°, 90°)별로 측정된 후족 부위인 M1, M2 부위, 중족과 전족 부위인 M3, M4, M5 부위, 발가락 부위인 M6, M7, M8 부위의 최대힘과 최대압력에 대하여 분석을 실시하였다.

최대힘은 부위에서 존재하는 각 셀에서 나타난 최대힘들을 더해서 존재 셀 개수 만큼 나눈 값을 의미하며, 최대압력은 부위에 존재하는 셀들 중에서 나타난 최대압력값 하나만을 의미하는 것이다. 그러므로 부위별 평가에서 최대힘값 뿐만 아니라 최대압력값을 파악하므로 통해서 충격에 대한 설계에 있어서 좀 더 세부적인 접근이 가능하므로 두 가지 요소를 다 평가할 필요성이 있다.

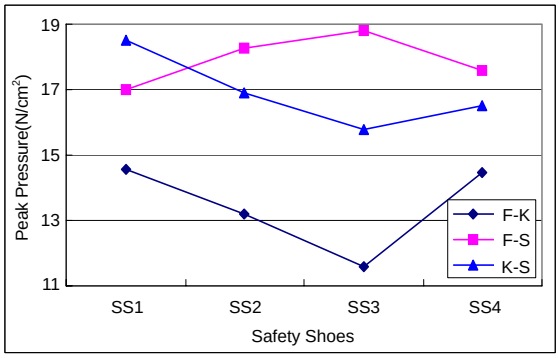

그림 7. M1 부위의 최대압력에서 안전화와 작업 높이간의 교호작용

그림 7은 M1 부위의 분산분석 결과에서 안전화와 작업 높이간의 교호작용을 나타낸 그림이다. M1 부위는 Floor에서 Shoulder까지의 높이 작업이 거의 모든 안전화에서 최대압력(p<0.0194)이 가장 높게 나타났으며, Floor에서 Knuckle까지의 높이 작업은 거의 모든 안전화에서 최대압력이 작게 나타남을 알 수 있었다. 그러므로 MMH 작업이 빈번한 건설작업 현장에서는 작업자에게 피로감을 주지 않기 위해서는 높이 작업을 고려한 설계가 이루어져야겠다. 또한 안전화 설계 시에도 M1 부위에 피로감을 덜어주기 위한 충격흡수용 소재 등을 사용해 주어야 할 것이다.

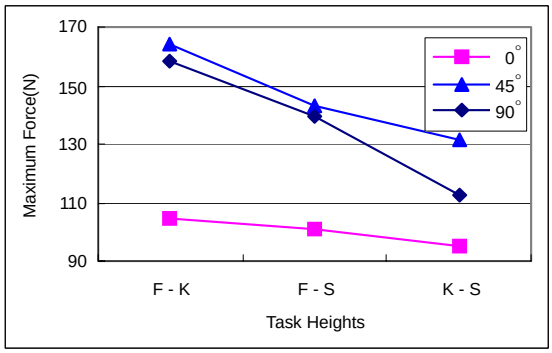

그림 8. M5 부위의 최대힘에서 작업 높이와 작업 각도간의 교호작용

그림 8은 M5 부위의 분산분석 결과에서 작업 높이와 작업 각도간의 최대힘 교호작용을 나타낸 그림이다. 0° 작업에서는 모든 높이의 작업에 대해 M5 부위의 최대힘(p<0.0126)이 가장 작게 나타남을 볼 수 있었다. 이에 MMH 작업이 빈번한 건설 현장에서는 작업 설계 시 각도를 고려한 설계가 반드시 필요함을 알 수 있다. 그러므로 작업 각도를 고려하여 작업을 설계하는 것이 발에 대한 스트레스를 감소시키는 요인이 될 수 있다고 할 수 있다.

그림 9는 M7 부위의 분산분석 결과에서 안전화와 작업

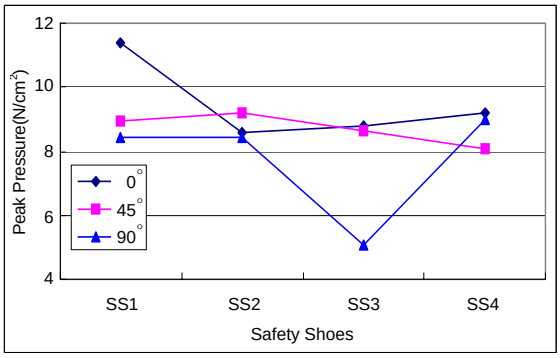

그림 9. M7부위의 최대압력에서 안전화와 작업 각도간의 교호작용

각도간의 최대압력 교호작용을 나타낸 그림이다. 발가락 가운데 부위에 해당하는 M7 부위의 최대압력(p<0.0002)에 대한 0° 작업에서는 최대압력이 가장 작게 나타나는 SS2 안전화 보다 최대압력이 가장 높게 나타나는 SS1 안전화가 138% 더 높게 나타났다. 45° 작업에서는 최대압력이 가장 작게 나타나는 SS4 안전화 보다 최대압력이 가장 높게 나타나는 SS2 안전화가 13% 더 높게 나타났다. 90° 작업에서는 최대압력이 가장 작게 나타나는 SS3 안전화 보다 최대압력이 가장 높게 나타나는 SS4 안전화가 60% 더 높게 나타났다.

안전화간에도 작업 각도에 따라 최대압력이 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 인력물자취급작업이 많은 건설 현장에 사용하는 중작업용 안전화의 경우에는 설계에서부터 인간공학적인 연구를 기반으로 충격흡수를 고려한 설계가 이루어져야 하겠다. 또한 착화감과 충격흡수를 고려한 소재에 대한 연구도 병행되어야 작업자들에게 피로감을 해소해 주는데 크게 기여할 수 있을 것이라 생각된다.

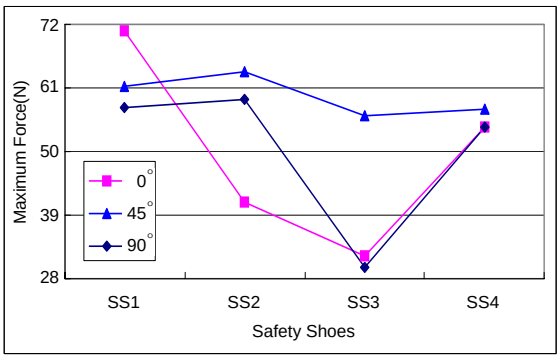

그림 10. M8 부위의 최대힘에서 안전화와 각도간의 교호작용

그림 10은 M8 부위의 분산분석 결과에서 안전화와 작업 각도간의 최대힘 교호작용을 나타낸 그림이다. 4번째 발가락과 5번째 발가락 부위를 의미하는 M8 부위의 최대힘(p=0.0079)에 대한 0° 작업에서는 최대힘이 가장 작게 나타나는 SS3 안전화 보다 최대힘이 가장 높게 나타나는 SS1 안전화가 125% 더 높게 나타났다. 45° 작업에서는 최대힘이 가장 작게 나타나는 SS3 안전화 보다 최대 압력이 가장 높게 나타나는 SS2 안전화가 13% 더 높게 나타났다. 90° 작업에서는 최대 압력이 가장 작게 나타나는 SS3 안전화 보다 최대 압력이 가장 높게 나타나는 SS2 안전화가 97% 더 높게 나타났다.

4. 결론 및 검토

산업 현장에서 작업자는 안전화를 착화하고 다양한 형태의 MMH 작업을 수행하고 있다. 그러나 이러한 작업을 통해 발생하는 육체적인 피로가 신체적 감각체계들의 작용 저하를 가져오게 하며 결과적으로는 신체의 작업 자세 균형능력 저하로까지 이어지게 만든다. 이로 인해 건설, 제조, 물류(운수) 등의 MMH 작업이 빈번한 산업 현장에서는 다양한 유형의 근골격계질환 뿐만 아니라 추락 및 전도 등의 상해가 발생한다. 그러므로 작업에 맞는 안전화의 개발과 작업 시 발의 피로를 경감하며 안락함을 추구하기 위한 인간공학적인 연구를 하기 위한 목적으로 신발의 정량적인 평가 방법 중의 하나인 압력분포측정기를 사용하여 실험하고 분석을 실시하여, 분석변인들의 측정치를 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 들기 작업 시 작업 높이에 대한 발 전체의 최대압력에서는 Knuckle에서 Shoulder까지의 높이가 최대압력에서 가장 작게 나타났다. 또한 들기 작업 시 작업 각도에 대한 발 전체의 최대힘과 최대압력에서는 각도가 증가할수록 최대힘과 최대압력은 증가하는 것을 알 수 있었다. 그러므로 작업 높이와 작업 각도를 고려한 작업 설계가 이루어질 필요성이 있다고 할 수 있다. 또한 발에 미치는 스트레스를 감소하기 위해서는 다양한 작업 유형을 고려한 안전화 설계가 이루어져야 할 것 같다.

(2) 들기 작업 시 작업 높이에 대한 발 부위별 최대힘과 최대압력에서는 후족과 중족을 제외한 중족과 발가락 부위에서 Knuckle에서 Shoulder까지의 높이가 최대힘과 최대압력에서 가장 작게 나타났다. 또한 들기 작업 시 작업 각도에 대한 발 부위별 최대힘에서는 M4, M7 부위를 제외한 부위에서 0° 작업이 가장 작게 나타났고, 최대압력에서는 다양한 형태를 보였다.

본 연구 결과는 일반적인 안전화의 목적인 발의 보호뿐만 아니라 작업의 효율성을 더욱 높여주고 작업자의 신체 피로

까지 고려한 인간공학적 안전화 개발과 작업자의 자세와 동작 등과 같은 작업에 맞는 안전화 설계를 위한 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 예측된다. 뿐만 아니라 MMH 작업 시 신체에 부담을 주는 작업의 자세와 동작을 파악하여 근골격계 질환에 대한 기초 자료로서도 활용 가능하다.

참고 문헌

박재규, 박성하, 인력물자취급 작업시 작업 대상물의 위치가 신체 자세동요에 미치는 영향, *대한인간공학회지*, Vol. 23, No. 4, 2004.

정성학, 김홍기, 인력물자취급시 작업빈도에 따른 생리적 작업능력의 연구, *대한인간공학회지*, Vol. 18, No.2, 1999.

노동부, 노동부령 제 195 호, 산업보건기준에관한규칙개정령 산업보건기준에관한규칙, 제9장 근골격계부담작업으로 인한 건강장해의 예방, 2003.

박성하, 구준모, 육체적인 피로가 자세균형능력에 미치는 영향 연구, *한남대학교 논문집*, 33권, 189-196, 2003.

여민우 외3, 안전화 착화 시 작업 유형에 따른 인솔 부위의 압력분포에 관한 연구, *2004 대한인간공학회 추계학술발표대회*, 2004.

곽창수, 운동화 중저의 경도가 주행 시 발바닥의 압력분포와 충격흡수에 미치는 영향, *서울대학교 대학원 학위논문(박사)*, 1993.

이긍세, EMG를 이용한 배근 피로의 분석, *서울대학교 공학박사학위 논문*, 1-3, 1983.

부진후, 런닝 시 충격에 의한 신체 각 부위의 가속도 전달 특성, *동아대학교 대학원 학위논문(박사)*, 2000.

Kilbom, A., Assessment of physical exposure in relation to work-related musculoskeletal disorders- what information can be obtained from sysrematic observations Scandinavian, *Journal of Work, Environment and Health*, 20(spec), 30-45, 1994.

Holbein and Chaffin, D. B, Stability Limits in Extreme Postures: Effects of load positioning, foot placement and strength, *Human Factors*, 39(3), 309-320, 1997.

Pan, C. S. and Chiou, S., Analysis of Biomechanical Stresses during Drywall Lifting, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 23, 505-511, 1999.

T.A. Mahon, Ballistic walking, *Journal of Biomechanics*, 13, 49, 1978.

K. Son, Dissertation of doctor, *The University of Michigan*, 3-7, 1988.

Cavanagh, P, R., The mechanics of distance running: Ahistorical Perspective, In Biomechanics of Distance Running, *Human Kinetic Books*, Champaign, Illinois, 1-34, 1990.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 여 민 우 ❖ mwyeo@donga.ac.kr
동아대학교 산업시스템공학과 학사, 석사
현 재: 동아대학교 산업시스템공학과 박사과정
관심분야: 인간공학, 생체역학, 제품설계 및 평가, WMSDs

❖ 이 상 도 ❖ sdlee@dau.ac.kr
부경대학교 경영학과 경제학 박사
현 재: 동아대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 인간공학, 안전공학, 품질경영 및 TPM

❖ 이 동 춘 ❖ dclee@dau.ac.kr
동아대학교 산업공학과 공학박사
현 재: 동아대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: WMSDs, 작업안전, Workstation Design, PL

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 04월 26일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 08월 05일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 08월 08일