

# 힘판을 이용한 들기 작업시의 경사면 분석<sup>†</sup>

## (Analysis of Sloping Ground When Lifting with Force Platform)

서 승 록\*                      김 종 석\*  
(Seung-Lock Seo)              (Jong-Seok Kim)

**요 약** 최근 들어 산업현장에서는 생산성의 향상, 노무비의 증가 및 노동력의 부족, 안전성 등을 이유로 자동생산시스템과 운반용 동력기계와 같은 기구를 도입하여 작업자 스스로가 자신의 근력을 이용한 인력운반(Manual Materials Handling : MMH) 작업이 줄어들고 있는 추세라고 하지만, 실제로 비탈진 경사면에 위치한 농장이나 과수원, 항만부두의 하역작업, 경사진 벌목장 작업, 광산의 막장에서의 작업등과 같이 주변환경이 복잡한 현장에서의 작업은 기계로 완전히 대체하기가 어려운 실정이다. 그러므로, 이러한 작업현장에서는 인간이 직접 손 운반작업(들기 작업)을 할 수밖에 없으며, 이와 같은 경사면에서의 손 운반작업(들기 작업)은 작업자에게 많은 재해의 위험성을 만들어 주며, 추락으로 인한 산업재해는 물론이고 미끄러짐 방지 같은 신체균형 잡기 노력은 근골격 계통에 과도한 무리를 주게 되어 LBP의 원인이 되기도 한다. 하지만, 이러한 경사면에서의 손 운반작업(들기 작업)에 대한 연구에 대해서는 거의 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 force platform을 이용하여 경사면에서의 손 운반작업(들기 작업)을 통한 COP변화를 측정·분석하여 작업자들의 산업재해를 예방하고자 하며, 향후 이러한 기초 자료를 통하여 손 운반작업(들기 작업)뿐만 아니라 그 밖의 응용분야에 기여하고자 한다.

**Abstract** Even manual materials handling tasks(MMHT) is decreasing by adopt of automatic manufacturing system & transportation supporting machine because of increase of productivity, wage, lack of labor, safety, in fact, working at inclined & complicated slope such as farm, orchard, harbor loading & unloading, logging place and mining place can't be substituted by machine perfectly. So, workers should do MMHT at this place by themselves, lifting on slope can cause much of hazard, include falling. Keeping balance not to slip can be a reason of low back pain(LBP) by overloaded musculoskeletal system but, there's not enough study about lift on slope. Therefore, In this study, we assessed and analyzed change of center of pressure(COP) when lifting on slope by force platform. The result showed that the length lengthen as increasing angle of slope. Especially, the length extremely increased over 15°. Through These basic results, present proper angle boundary, prevent industrial accidents and give proper data not only lifting but also pushing and pulling on slope someday.

### 1. 서 론

#### 1.1 연구목적

현대사회에서 근로자의 삶의 질을 높여려는 인식이 높아짐에 따라 산업 현장에서는 재해사고를 최소화하는데 많은 노력을 기울이고 있다. 산업현장의 작업 중 드는 작업(lifting task), 내리는 작업(lowering task), 나르는 작업

(carrying task), 들고있는 작업(holding task), 당기는 작업(pulling task)등을 포함하는 인력물자취급(manual material handling : MMH)작업은 현재 산업 현장에서 작업자의 신체 상해(injuries)를 유발시키는 주요 요인으로 되고 있다.

인력물자취급작업에 의한 직업적 재해를 줄일 수 있는 원칙적인 방안으로는 생산설비의 자동화이며, 이러한 자동화는 생산성의 향상, 노무비의 감소 및 노동력부족의 대체, 산업안전과 재해방지 등을 이유로 도입되고 있다. 그러나 완전한 자동화의 도입은 산업현장의 경제적인 부담과 현장 특성에 따라 적용이 어려운 실정이며, 실제로 비탈진 경사면에 위치한 건설현장의 경사면, 항만부두의

<sup>†</sup> 이 논문은 1999년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임  
\*대구대학교 자동차·산업·기계공학부

하역작업 등과 같은 경우에는 기계로 완전히 대체하기가 어렵다.

따라서, 이러한 작업현장에서는 인간이 직접 작업을 할 수밖에 없으며, 이와 같은 환경, 즉 경사면에서의 들기 작업은 작업자에게 추락으로 인한 산업재해 등의 위험을 유발한다. 특히 미끄러짐을 방지하려는 신체균형 잡기 노력은 자신의 능력을 넘어서는 과도한 힘의 발휘(overexertion)를 유도하게 됨으로서 근골격계(musculoskeletal system)에 큰 육체적 스트레스(physical stress)를 주게 되어 요통(LBP : low back pain)의 원인이 되기도 한다.

Zaho et al (1987)은 손 운반작업 중 미끄러지는 사고는 비탈진 경사면에서 자주 일어난다고 보고하고 있으며 비탈진 경사면과 인체의 반발력 등에 관하여 연구하였다. 그러나, 국내에서의 경사진 작업장에서의 MMH작업에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 이와 같은 특수한 환경에서 안전한 작업설계를 위하여 발의 압력중심(COP : center of pressure) 변화와 근육 피로도의 측정·분석으로 경사각에 따라 들기작업이 인체에 미치는 영향을 조사·연구할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 경사진 공간에서 MMH작업시 양팔을 이용하여 물자를 취급하는 작업자세 중 정적인 선 자세(standing posture)로 주어진 외적하중에 대하여 작업시 경사각에 따른 COP 변화와 근수축에 따른 근육 피로 및 근육 동원 형태를 분석하여 작업자가 들기 작업을 할 때 사고를 최소화하는데 기초가 될 수 있는 자료를 제공하는데 목적을 두고 있다.

## 12. 이론적 배경

사고의 유형 중 MMH작업에 의한 발밑 재해(underfoot accidents)는 바닥이나 계단, 지붕, 발판 등과 같은 곳에서 위험이 야기되는 사고와 미끄러짐, 넘어짐, 떨어짐과 같은 것을 포함한다(Manning 1983).

이러한 사고는 신발과 바닥과의 마찰력의 감소, 잘못 설계되었거나 열악한 작업환경으로 인한 신체동작의 부자연스러움, 물체의 각도와 평평하지 못한 바닥, 작업자의 작업중심(balance)의 상실을 야기하는 물건, 작업자 또는 부적절한 지지대 등이 사고의 원인으로 나타났는데 그 중 대부분의 사고유형은 부적절한 작업환경, 신체적 불균형과 과도한 스트레스의 결과로 관절이나 뼈, 인대 등 근골격계의 부상을 초래하게 된다고 하였다.

건설업, 제조업, 물류(운수)업 등 산업전분야에서 상당한 육체적 노력을 요하는 MMH작업은 전체 작업 중 1/3인 것으로 추정되며, 직업적 재해 중에서 MMH작업에 의한 LBP의 비중이 점점 크게 증가하고 있다.

MMH작업 안전은 운반에너지의 최소화, 중량물의 예측 및 적정화, 표준화 및 운반횟수, 운반거리, 운반 높이의 최적화를 통해 얻어질 수 있다. 그러나 MMH작업장의 조건이 각각 다르기 때문에 적절한 중량을 정한다는 자체는 매우 어려운 실정이다.

한국산업안전공단 표준안전지침의 제5조(작업중량)에서는 작업조건, 작업환경, 작업대상물의 형상, 근로자의 성별 및 연령 등 제반사항을 고려하여 작업중량은 근로자의 안전과 건강에 위험을 초래하지 않도록 하여야 한다고 명시하고 있다. 여기에는 작업안전과 효율의 극대화를 위해 공구나 부품을 적정 배치하여 운반거리와 운반횟수를 줄여야 하는 문제도 포함된다.

그러나 물자운반취급시 작업자에게 기본적으로 검토가 되어야 할 사항은 서 있는 자세에서의 특정 신체부위의 움직임, 신체 압력 중심의 위치 이동 등에 대한 측정이 요구된다.

## 2. 본 론

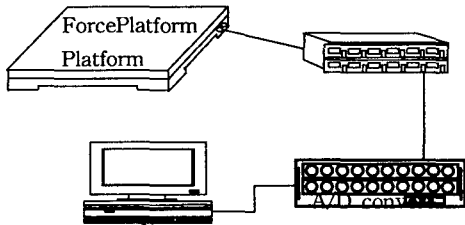
### 2.1 실험장치

힘판의 네 귀퉁이의 Load Cell에 부착된 스트레인게이지에 의해서 3축(X축, Y축, Z축)의 힘과 모멘트가 측정된다. 힘판의 특성은 직사각형(600mm×400mm), 무게(34kg), 측정범위는 Fx, Fy (1000lb), Fz(2000lb.), 감도(Sensitivity)는 Fx, Fy(1.50 μV/V-lb.), Fz(0.38 μV/V-lb)이다.

스트레인 게이지 시스템은 스트레인 게이지와 브리지 회로(bridge circuit)와 증폭기(amplifier) 그리고 기록기로 구성되어 있다.

센싱된 힘이 스트레인 게이지와 브리지 회로 그리고 증폭기를 거치는 동안 시간과 전압 진폭이 모두 연속적으로 변하는 아날로그 신호(analog signal)로 변화되며 이러한 아날로그 신호를 컴퓨터에 입력시키기 위해서는 시간과 진폭이 모두 이산치인 디지털 신호(digital signal)로 바꾸는 과정을 거친다. <그림 1>은 힘판 실험장치의 구성도를 나타낸 것이다.

측정된 신호는 너무 미세, 미약한 신호이므로 증폭기와 AD변환기를 거쳐서 컴퓨터(측정)시스템에 전달되며, 측정시스템에서는AMTI(AdvancedMechanical Technology, INC., U.S.A)사 자체 프로그램을 사용하여 신호를 획득하며, Bioanalysis Ver. 1.1이라는 프로그램으로 다양한 분석을 하게 된다.

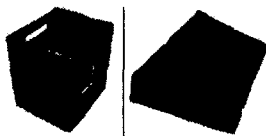


<그림 1> Composition of experimental equipment of force platform

## 2.2 실험설계

예비실험에서 인위적인 경사면을 만들기 위하여 사용되는 재질은 철판, 플라스틱, 나무 등의 여러 종류를 이용하여 제작하여 보았다. 그 중 미끄럼 마찰계수가 가장 적은 나무재질을 선택하였으며, 경사면의 크기는 힘판의 크기(600mm×400mm)와 동일하게 제작하였다. 경사면의 각도는 실험결과에의 구분을 명확히 하기 위하여 5도단위로 구분하여 0o, 5o, 10o, 15o, 20o의 5단계로 설정하였다. 또한 실험의 정밀도를 높이기 위하여 각 단계의 경사면에 동일한 발모양 그림을 그려서 정확도를 높였다.

상자 무게(중량)선정은 수동물자 취급을 위한 ILO의 권고값과 NIOSH의 기준범위 안에 해당하는 무게인 상자와 추를 포함하여 10kg과 20kg을 예비실험한 결과 피실험자의 심리적 저항이 비교적 적은 10kg을 선정하였다. 총 중량은 나무재질의 상자(240mm×270mm×300mm)에 금속성 추를 적재한 10kg이다. 중량물 적재함과 경사면은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> Box and inclined platform

한편 피실험자가 취할 수 있는 자세는 중심선과 등의 각도선정을 “약력의 인간공학적 평가를 위한 접근방법”(양성환, 갈원모, 박범, 1997)에서 수직선과 등의 각이 30o와 60o가 유의한 차이를 나타내지 않아, 비교적 직립에 가깝고 자연스러운 자세가 되는 30o를 지정하였다.

높이선정은 30o각도 선정 후 실험자가 원하는 자세를 취하게 한 결과 수직 80cm, 수평 35cm라는 거리가 선정되었다. 측정시에는 경사면을 힘판 위에 놓고 영점화(Zeroing)를 실시하여 경사면자체를 힘판의 일부로 인식하게 하였다.

## 2.3 실험방법

실험기간은 약 1개월이고, 힘판 측정시 경사각도별(0o, 5o, 10o, 15o, 20o) 1인당 3회로써 총 15회를 측정하였다. 실험조건은 온도 22℃, 습도 60%이고, 시간은 주간에 주로 행하여 졌으며, 1회에 10초간 실시하였다. 휴식시간은 매회 실험후 10분씩 주어졌다.

피실험자 선정은 과거에 신경계 및 근골격계에 특기할 병이나 외상을 경험한 일이 없는 D대학 남학생을 대상으로 예비실험을 거쳐 10명을 선발하였으며 신체적 특성은 <표 1>과 같다.

<표 1> Body characteristics of objects(n=10)

age		height		arm length(cm)		length from elbow to end(cm)	
ave.	SD	ave.	SD	ave.	SD	ave.	SD
25.5	2	172	5.9	81.0	3.6	44.3	1.7

경사면에서의 COP 변화에 관한 연구를 할 경우에는 시간, 서있는 자세, 발의 위치, 피로도 등 제어되어야 할 인자들을 고려하여 실험 환경을 정해야 한다. 일반적으로 대표적인 실험 환경은 정해진 자세에서 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태를 대상으로 이루어지지만, 본 연구는 MMH 손 운반작업(들기 작업)이므로 눈을 뜬 상태에서 좌우 대칭적인 들기 작업만을 연구하였다. 실험에 사용된 작업은 2차원 작업을 중심으로 좌우대칭 상태에서 연구하였다.

실험은 실험자와 피실험자가 개별적으로 독립된 장소에서 실시하였으며 또한 측정치의 정확성을 높이기 위하여 측정전에 본인에게 사전 양해를 구하여 측정에 무리가 없도록 하였다. 피실험자는 실험에 대한 전반적인 설명과 지시를 듣도록 하였으며, 실험에 대하여 의문이 있는 경우에는 실험자의 확인 및 설명을 듣도록 하였다.

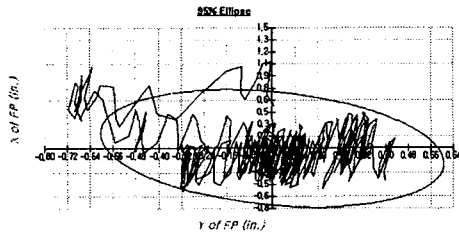
정확한 지지면의 수평을 위하여 힘판 위에 경사면을 설치하였다. 주어진 실험조건(0o, 5o, 10o, 15o, 20o)에 따라 들기 편리한 손잡이를 가진 10kg의 상자를 수직거리(vertical location) 80cm, 수평거리(horizontal location) 35cm의 조건으로 피실험자마다 경사면의 각도에 따라 10초간 동일한 자세를 유지하여 들기 작업을 실시하였다.

실제 들기 작업은 동적인 작업이지만, 동작의 한순간인 자세를 재현하기 위해 정적인 실험동작이 되었다. 최대한 실제 자세에 근접하게 실험을 재현하기 위해 보조자가 시작할 때마다 중량물을 들고 있다가 실험시작과 동시에 손을 놓고, 또한 기준이 되는 잣대를 힘판 옆에 설치하여 정확한 위치에서 정확한 자세를 피실험자가 유지할 수 있게 보조자가 관찰하였다.

## 2.4 COP 궤적성에 대한 변동

### 1) 시간에 대한 면적의 변동

정적자세에서 중심동요는 신체평형시스템이 내적 평형 조절 작용에 대한 반응을 나타내며, 신체압력 중심의 전후, 좌우 위치변화량(피실험자의 일예)을 계산하여 중심으로부터 산포되는 압력분포 자료를 95% 타원으로 나타내며 <그림 3>과 같다. 또한 이를 각 경사각도(0°, 5°, 10°, 15°, 20°)에 따라 피실험자 10명을 시간에 대한 면적의 변화량으로 나타낸 것이 <그림 4>이다.

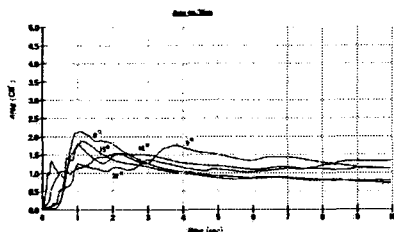


<그림 3> 95% Ellipse of the center of pressure data

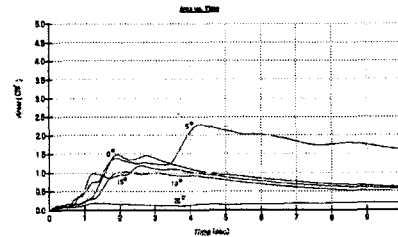
<그림 4>에서 피실험자 B는 4초 이후 경사각 5°에서 많은 변화량을 보여주며, 피실험자 G는 5초 이후 경사각 15°에서 많은 변화량을 보여주고 있다. 또한 피실험자 I는 2초대에서 각 경사각에 따라 많은 변화량을 보여주고 있으며, 이들을 제외한 피실험자는 거의 일정한 변화량을 보여주고 있다.

정적 자세에서는 압력중심의 위치나 무게 중심의 위치가 대체로 일치되지만 몸이 지지면에 무게 중심이 위치 되도록 움직이기 때문에 압력중심 위치는 무게 중심의 이동보다 동요량이나 주파수가 더 크게 나타나게 된다. 그러나 본 실험에서는 안정된 상태에서 무게중심을 유지하고자 하였으므로 <그림 4>에서와 같이 들기 작업을 수행하는 초기에는 경사각도에 상관없이 발의 압력중심의 변화가 많았으나 시간의 경과에 따라 안정상태가 유지되고 있다. 그러나 장시간이 소요되는 실험이라면 근피로에 의해 그 변화량이 다르게 나타날 것으로 보인다.

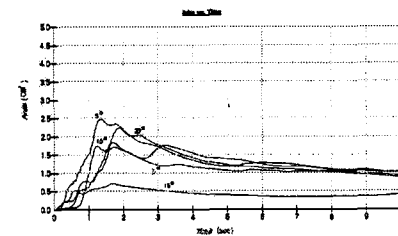
(a) Subject A



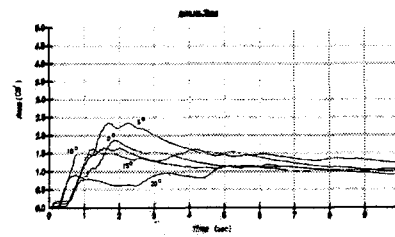
(b) Subject B



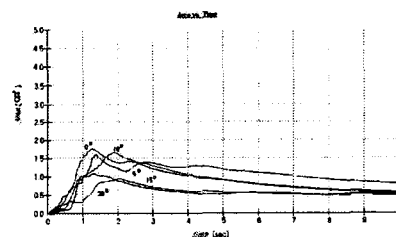
(c) Subject C



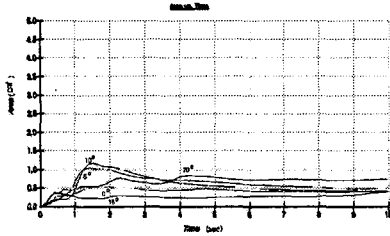
(d) Subject D



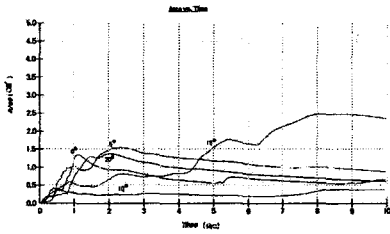
(e) Subject E



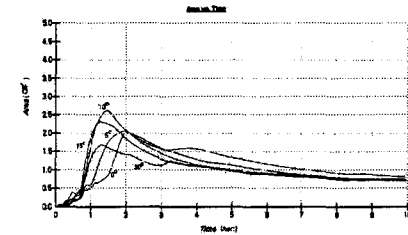
(f) Subject F



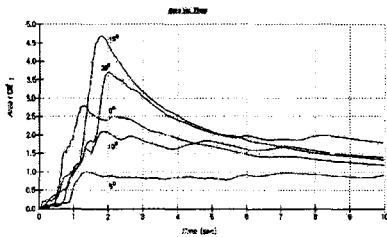
(g) Subject G



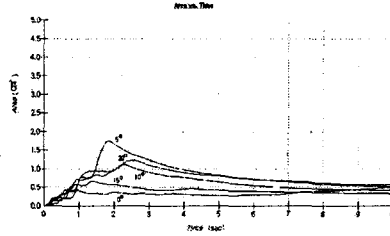
(h) Subject H



(i) Subject I



(j) Subject J



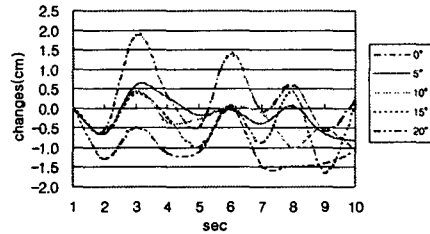
<그림 4> Area & Time for each angle

2) 시간에 대한 경사각도별 COP 변동

경사면에서의 일정한 자세로 들기 작업시 피실험자가 힘판 위에 있을 때 중심의 변동을 고려하여 1초대를 0점으로 설정하여 분석하였다. 시간흐름에 따른 X축에 대한 COP변동은 <표 2>와 같고, 이를 그림으로 나타내면 <그림 5>와 같다. <그림 5>에서 보는 것처럼 중심이동이 시간(초)대에 따라 전후로 변동하고 있으며, 경사각 0에서는 무게중심이 전방향으로 나타나는 것으로 보이나 20에서는 후방향으로 치우침이 많은 것으로 나타났다. 전체적으로 보아 경사각이 증가함에 따라 후방향으로 중심이동이 변화하고 있음을 알 수 있다.

<그림 2> Changes for each angle by time(X axis)

Angle sec	0°	5°	10°	15°	20°
0-1	0	0	0	0	0
1-2	-0.54523	-0.64589	-0.60007	-0.63864	-1.27382
2-3	1.903782	0.592019	0.45309	0.423694	-0.47627
3-4	0.308093	0.307261	-0.32098	-0.23961	-1.12816
4-5	-0.46866	-0.16232	-0.2547	-0.98343	-1.09809
5-6	1.410743	-0.02209	0.02977	0.075076	0.003215
6-7	-0.06309	-0.37031	-0.10165	-0.85609	-1.45171
7-8	0.591862	0.059556	-0.9778	0.403596	-1.47057
8-9	-0.57014	-0.66601	-0.50197	-1.62031	-1.39568
9-10	0.20658	-0.8147	-1.04208	0.103526	-1.07946



<그림 5> Length changes for each angle by time(X axis)

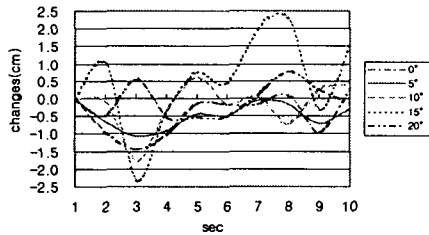
Y축에 대한 COP변동은 <표 3>과 <그림 6>에서와

같이 일반적으로 마이너스(좌측)에서 많이 움직이고 있음을 알 수 있다. 이것은 피실험자 대부분이 오른손잡이기 때문에 들기 작업을 하고 있는 동안 상대적으로 힘이 약한 왼손으로 무게가 기울어져 왼발에서 무게중심을 잡기 위해 많이 움직였다. X축에 대한 COP변동과 마찬가지로 경사각도에 상관없이 일정한 유형을 따른다.

<그림 6>에서 보면 경사각 15o에서 들기 작업시 피실험자들의 데이터 평균값의 편차가 많은 것으로 나타났으며, 이는 피실험자 개인차에 의한 결과로 보여진다.

<표 3> Changes for each angle by time(Y axis)

Angle sec	0°	5°	10°	15°	20°
0-1	0	0	0	0	0
1-2	-0.93366	-0.66131	-0.06635	1.00497	-0.46178
2-3	-1.42747	-1.08073	-1.77008	-2.30688	0.535623
3-4	-1.05136	-0.92282	-0.34868	-0.34877	-0.52853
4-5	-0.12477	-0.43609	0.616642	0.763331	-0.50782
5-6	-0.16428	-0.49985	-0.1603	0.450539	-0.53384
6-7	-0.16183	-0.06216	0.063159	1.978946	0.078145
7-8	0.106893	-0.16309	-0.72194	2.301412	0.779269
8-9	-0.97196	-0.71055	0.256582	-0.3151	0.259822
9-10	0.256933	-0.27834	0.426131	1.561864	-0.0989



<그림 8> Length changes for each angle by time(Y axis)

## 2.5 COP 궤적성에 대한 비교분석

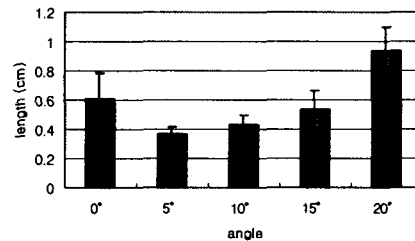
### 1) COP 궤적성의 변화

<표 4>는 시간대별 피실험자 10명의 움직임의 평균값들과 시간에 대한 표준편차 값들이다.

X축에 대한 경사각도별 COP의 이동거리 평균값을 살펴보면 <표 4>와 <표 7>에서 보는 것처럼 경사면 각도가 증가할수록 COP의 이동거리가 증가하며, 20o에서 이동거리가 급격히 증가함을 알 수 있다. 이것은 경사면 15o까지는 작업자가 작업을 하는데 무리가 없지만 20o가 넘어가면 무게중심이 흐트러져 전후로 많이 움직인다는 것을 뜻한다.

<표 4> Average of length at COP(X) and COP(Y) ।

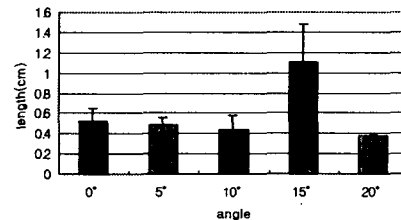
Angle		0°	5°	10°	15°	20°
length (cm)	COP(X)	Mean 0.67	0.40	0.48	0.59	1.04
	SD	0.60	0.29	0.35	0.50	0.49
COP(Y)	Mean	0.58	0.53	0.49	1.23	0.42
	SD	0.51	0.34	0.53	0.83	0.23



<그림 7> Average of length at COP(X)

Y축에 대한 경사각도별 COP의 이동거리 평균값은 <표 4>와 <그림 8>에서 보여진다. <그림 8>을 살펴보면 15o를 제외한 나머지 경사면에서 각도가 증가할수록 좌우로 움직이는 COP 이동거리가 감소한다는 것을 알 수 있다. 이것은 경사각도가 증가할수록 피실험자가 무게중심을 잡기 위해 좌우보다는 전후로 많이 움직이고 있다고 볼 수 있으며, Y축에 대한 평균의 표준편차는 X축과 마찬가지로 COP의 이동거리 평균값이 증가할수록 커진다는 것을 알 수 있다.

그리고, 대부분의 피실험자들은 15o에서 Y축으로의 움직임이 급격히 증가하였는데, 그 이유는 15o라는 경사각도가 피실험자들에게는 5o와 10o처럼 그렇게 크지 않은 경사각도라고 생각하고 실험에 임하였다가 뒤늦게 무게중심을 잡기 위해 많이 움직인 것으로 생각된다. 그러나, 20o에서는 움직임이 15o일 때보다 적게 나타난다. 그것은 피실험자가 20o라는 경사각도에서 들기 작업을 하는 경우에 이미 경사각도에 대한 부담을 가지고 있으며 그로 인하여 미리 중심을 잡기 위해 노력했다고 볼 수 있다.



<그림 10> Average of length at COP(Y)

경사각도별 COP(X)의 평균 이동거리에 대한 분산 분석 결과는 <표 5>에서 보는 것처럼  $\alpha=0.05$  수준에서 유의 차가 있는 것으로 나타났다(F=2.15,  $p<0.09$ ).

<표 5> ANOVA table for average of COP(X) axis

Source	DF	ANOVA SS	Mean Squares	F value	Pro>F
Angle	4	2.00262	0.500655	2.146725	0.090518
Error	45	10.49481	0.233218		
Total	49	12.49743			

그리고, <표 6>에서 알 수 있듯이 COP(Y)의 분산분석 결과 각각의 경사면에 대하여는  $\alpha=0.05$  수준에서 유의 차가 있는 것으로 나타났다(F=5.04,  $p<0.001$ ).

<표 6> ANOVA table for average of COP(Y) axis

Source	DF	ANOVA SS	Mean Squares	F value	Pro>F
Angle	4	7.576315	1.894079	5.085319	0.001933
Error	45	16.92714	0.376159		
Total	49	24.50345			

## 2) COP에 대한 시간 및 경사각도별 비교분석

COP(X)축에 대한 시간대별·경사각도별 다중비교 분석을 한 결과 <표 7>의 분석표에서와 같이 전체적으로 유의한 차이를 보였다(F=13.99,  $P=0.0001$ ). 시간대별로는  $\alpha=0.05$  수준에서 유의한 차이가 없었으나(F=0.96,  $P=0.4723$ ) 경사각도별로는 유의한 차이가 있음이 나타났다(F=43.30,  $P=0.0001$ ). 한편, 경사각도에 대해서 Duncan Grouping한 결과 <표 8>과 같이 0o와 10o에서는 그룹화가 이루어져 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

따라서 전체적으로 볼 때 정적인 자세에서 신체중심을 유지하기 위하여 중량물을 들고 있을 때 경사각도가 작은 경우에는 전후로 움직임이 많이 나타남을 의미하게 된다.

<표 7> ANOVA table for each angle by time at COP(X) axis

Source	DF	ANOVA SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	13	709.60	54.59	13.99	0.0001
Error	486	1896.55	3.90		
Total	499	2606.15			

Source	DF	ANOVA SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sec	9	33.72	3.75	0.96	0.4723
Angle	4	675.88	168.97	43.30	0.0001

<표 8> Multiple comparison for each angle at COP(X) axis

Duncan Grouping	Mean(cm)	N	Angle
A	3.6531	100	5°
B	2.8060	100	10°
B	2.7878	100	0°
C	1.8095	100	15°
D	0.2504	100	20°

COP(Y)축에 대한 시간대별·경사각도별 다중비교 분석을 한 결과는 <표 9>의 분석표에서와 같이 전체적으로 유의한 차이가 없음을 보였다(F=1.90,  $P=0.0278$ ). 시간대별로는  $\alpha=0.05$  수준에서 유의한 차이가 없었으나(F=0.20,  $P=0.9940$ ) 경사각도별로는 유의한 차이가 있음이 나타났다(F=5.73,  $P=0.0002$ ).

<표 9> ANOVA table for each angle by time at COP(Y) axis

Source	DF	ANOVA SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	13	22.30	1.72	1.90	0.0278
Error	486	438.29	0.90		
Total	499	460.59			

Source	DF	ANOVA SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sec	9	1.64	0.18	0.20	0.9940
Angle	4	20.66	5.17	5.73	0.0002

<표 10> Multiple comparison for each angle at COP(Y) axis

Duncan Grouping	Mean(cm)	N	Angle
A	1.3831	100	20°
A	1.3152	100	0°
A	1.2843	100	5°
B	1.0172	100	10°
B	0.8479	100	15°

이것은 앞에서 살펴본 COP(X)에 대한 분석과 같은 결과를 보인다. 그리고 <표 10>의 Duncan Grouping 결과에서 보는 것처럼 20o, 0o, 5o에서 그리고 10o, 15o에서 그룹화가 이루어져 0o와 5o간에 그리고 10o와 15o간에는 유의차가 없는 것으로 나타났다.

## 3) COP(X) 및 COP(Y)에 대한 상관 및 회귀분석

COP(X)축에 대한 상관분석은 <표 11>에서 보는 것처럼 대체적으로 정상관으로 나타났으며, 0o와 5o, 0o와 15o에서 상관이 높은 것으로 나타났으며, 10o와 15o는 상관이 낮은 것으로 나타났다.

<표 11> Correlation of COP(X)

Angle	0°	5°	10°	15°	20°
0°	1				
5°	0.70185	1			
10°	0.482745	0.629692	1		
15°	0.762674	0.553687	0.070589	1	
20°	0.552874	0.438031	0.626728	0.476272	1

COP(Y)축에 대한 상관분석도 <표 12>에서 보는 것처럼 대체적으로 정상판으로 나타났으며 0o와 15o, 10o와 15o에서 상관이 높은 것으로 나타났다. 그러나, 0o, 5o, 10o와 20o와의 관계에 있어서는 역상관으로 나타났다. 이것이 의미하는 것은 20o를 제외한 나머지 경사각도에서 COP가 Y축으로 적게 움직이는 경우에 20o에서는 Y축으로 많이 움직인다는 것을 의미한다.

<그림 7>에서 보는 것처럼 경사각이 높은 20o에서는 전후로 많이 움직이는 현상을 보이고 있는 반면에 상대적으로 좌우로는 중심동요가 적게 나타남을 <그림 8>에서 알 수 있다. 이러한 결과에서 알 수 있듯이 경사각이 큰 20o에서는 피실험자가 무게중심을 잡기 위해 전후로 많이 움직이고 있다.

<표 12> Correlation of COP(Y)

Angle	0°	5°	10°	15°	20°
0°	1				
5°	0.342213	1			
10°	0.582124	0.610081	1		
15°	0.681554	0.422686	0.621582	1	
20°	-0.20077	-0.22923	-0.34132	0.109828	1

한편, COP에 대한 회귀분석표는 <표 13>과 같다.

<표 13>에서 알 수 있듯이 COP(X)와 COP(Y)는 역상관을 이룬다. 이것은 X축으로 COP가 많이 움직이면 Y축에 대해서는 반대로 COP가 적게 움직인다는 것을 의미하며 상관은 적은 것으로 나타났다.

<표 13> Regression analysis between COP(X) and COP(Y)

	X axis	Y axis
X axis	1.0000	-0.2005
Y axis	-0.2005	1.0000

COP(X)와 COP(Y)에 대한 회귀분석은 아래의

<표 14>와 <표 15>와 같으며, <표 15>에서 보는 것처럼 Y에 대해서는 유의차가 없는 것으로 나타났다. 따라서 COP(X)에 대해서만 분석하였으며 분석결과, <표 14>

에서 알 수 있듯이 COP(X)에 대한 회귀분석값은 경사각도(F=112.12, P=0.0001)와 X축에 대한 절편값(F=518.05, P=0.0001)에서 유의한 차가 있는 것으로 나타났다.

경사각의 변화에 따라 중심축에서 전후로 동요하게 되는 COP(X)에 대한 회귀식은 식(1)과 같다.

$$Y = -0.1385x + 3.6454 \quad (1)$$

<표 14> Regression analysis on COP(X)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	Pro>F
Regression	1	479.3707	479.3707	112.12	0.0001
Error	498	2129.1681	4.2754		
Total	499	2608.5388			

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II Sum of Squares	F	Pro>F
Intercep	3.6454	0.1602	2214.8746	518.05	0.0001
Angle	-0.1385	0.0131	479.3707	112.12	0.0001

<표 15> Regression analysis on COP(Y)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	Pro>F
Regression	1	0.89	0.89	0.96	0.3276
Error	498	460.62	0.93		
Total	499	461.51			

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II Sum of Squares	F	Pro>F
Intercep	1.23286	0.0745	251.57	271.98	0.0001
Angle	-0.0060	0.0061	0.89	0.96	0.3276

### 3. COP 결과 및 고찰

정적자세에서 신체 압력 중심의 위치 이동에 대한 COP 결과는 다음과 같다.

첫째, X축에 대한 COP변동은 경사각도에 상관없이 동일하게 실험시작 1~2초 정도까지는 발의 압력중심이 잡히지 않아 피실험자의 움직임이 많은 것으로 나타났으나, 시간이 경과함에 따라 점차 안정상태가 유지되었다.

둘째, Y축에 대한 COP변동은 오른발보다는 왼발에서 변동이 많은 것으로 나타났다. Y축에 대한 COP변동은 일반적으로 마이너스(좌측)에서 많이 움직이고 있음을 알 수 있다. 이것은 피실험자 대부분이 오른손잡이이기 때문에 들기 작업을 하고 있는 동안 상대적으로 힘이 약한 왼손으로 무게가 기울어져 왼발에서 무게중심을 잡기



위해 많이 움직였다는 것을 의미하며, X축에 대한 COP 변동과 마찬가지로 Y축에 대한 COP변동도 경사각도에 상관없이 일정한 유형을 따른다.

셋째, X축에 대한 경사각도별 이동거리결과는 경사각도가 증가할수록 증가하며, 특히, 20o 이상이 되면서부터 이동거리가 급격히 증가함을 알 수 있다. X축에 대한 중심이동이 시간(초)대에 따라 전후로 변동하고 있으며, 경사각 0o에서는 무게중심이 전방향으로 나타나지만 20o에서는 후방향으로 치우침이 많은 것으로 나타났다. 전체적으로는 경사각이 증가함에 따라 후방향으로 중심이동이 변화하고 있음을 알 수 있다.

또한, X축에 대한 경사각도별 COP의 이동거리 평균값을 살펴보면 경사각도가 증가할수록 COP의 이동거리가 증가하며, 20o에서 이동거리가 급격히 증가함을 알 수 있다. 이것은 경사면이 15o까지는 피실험자가 작업을 하는데 무리가 없지만 20o가 넘어가면 무게중심이 흐트러져 전후로 많이 움직여 위험하다는 것을 뜻한다.

X축에 대한 경사각도별 COP의 이동거리의 표준편차는 0o에서 가장 크며, 이것은 경사면에서 작업자가 작업을 할 때보다 평지에서 들기 작업을 할 때 작업자가 무게중심을 잡기 위해 전후로 더 많이 움직인다는 것을 의미한다. 0o보다는 작지만 경사각도가 증가할수록 표준편차가 점차 증가하는 것을 볼 수 있다.

넷째, Y축에 대한 경사각도별 이동거리결과는 15o를 제외한 나머지 경사면에서 경사각도가 증가할수록 좌우로 움직이는 이동거리가 감소한다는 것을 알 수 있다.

또한, Y축에서도 경사각도별 COP의 이동거리 평균값은 15o를 제외한 나머지 경사면에서 경사각도가 증가할수록 좌우로 움직이는 COP 이동거리가 감소한다는 것을 알 수 있다. 이것은 경사각도가 증가할수록 작업자가 무게중심을 잡기 위해 좌우보다는 전후로 많이 움직이고 있다고 볼 수 있으며, Y축에 대한 평균의 표준편차는 X축과 마찬가지로 COP의 이동거리 평균값이 증가할수록 커진다는 것을 알 수 있다.

그리고, 대부분의 피험자들은 15o에서 Y축으로의 움직임이 급격히 증가하였는데, 그 이유는 15o라는 경사각도가 피험자들에게는 5o와 10o처럼 그렇게 크지 않은 경사각도라고 생각하고 실험에 임하였다가 뒤늦게 무게중심을 잡기 위해 많이 움직인 것으로 생각된다. 그러나, 20o에서는 움직임이 15o일 때보다 적게 나타난다. 그것은 피험자가 20o라는 경사각도에서 들기 작업을 하는 경우에 이미 경사각도에 대한 부담을 가지고 있으며 그로 인하여 미리 중심을 잡기 위해 노력했다고 볼 수 있다.

실험의 결과를 토대로 위와 같이 고찰을 하였다. 그러나 여기에서 행한 실험은 단시간의 정적인 작업을 대상으로 하였으며 중량물의 무게를 한가지로 한정을 했기 때

문에 장시간이 소요되는 들기 작업의 경우에는 그 변화량이 다르게 나타날 수 있다. 따라서 장시간에 대한 중량물의 무게에 따른 최적 경사각도와 지속시간을 검토하여야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

다변화되고 산업화된 현대 사회에서 많은 산업재해가 작업자들에게 발생되고 있으며, 특히 LBP의 원인이 되는 MMH 작업에서 많은 재해가 발생하고 있다. 작업자들은 그러한 재해를 감소시키기 위하여 의식적이든 무의식적이든 중추 신경계의 조절을 받아 근육의 새로운 운동 동작 형태를 만들며 이러한 형태는 경사면에서의 작업에서도 동일하다.

본 연구에서는 경사면에서의 들기 작업에 따른 COP 변화를 측정·평가하여 작업자들의 산업재해를 예방하기 위한 기초자료를 제시하였으며, 연구 자료를 통하여 들기 작업뿐만 아니라 경사면에서의 다양한 인력운반작업분야에 기여할 것으로 기대된다. |

향후 연구과제로는 정적자세에서 중량물의 무게에 따른 최적 경사각도와 적정 지속시간의 검토뿐만 아니라 동적자세에서 인체 균형유지에 대한 분석이 요구된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 정성학, 김흥기, "인력물자취급시 작업빈도에 따른 인체심리학적 최대허용중량의 비교 연구"
- [2] 조영일, "인간공학", 대영사, 1996
- [3] 기도형, 정민근. "벽돌제조과정에서의 들기작업에 대한 Revised NIOSH Lifting Equation의 현장 적용", 대한산업공학회지, 제8권, 4호, pp155-166, 1995.
- [4] 정병용, 박경수. "힘판을 이용한 중심동요의 자동 측정에 관한 연구", 대한인간공학학회지, 제5권, 1호, pp45-52, 1988
- [5] Mikell P. Groover, "Automation Production Systems", pp.28~29, Prentice-Hall, Inc, 1987
- [6] Goldie, P. A., Bach, T. M., & Evans, O. M. "Force platform measures for evaluating postural control, reliability and validity", Arch Phys Med Rehabil Med Rehabil, 70, pp510-517, 1989

[7] Harris, G. F., Knox, T. A., Larson, S. J., Sances, A., & Millar, E. A. "A method for the display of balance platform center of pressure data", J. Biomech, 15(10), pp741-745, 1982

[8] Hasan, S. S., Lichtenstein, M. J., & Shiavi, R. G. "Effect of loss of balance on biomechanics platform measures of sway: influence of stance and a method for adjustment", Journal of Biomechanics, 23(8), pp783-789, 1990

[9] Sanders, R. H., Wilson, B. D., & Robert, K. "Accuracy of derived ground reaction force curves for a rigid link human body model". International Journal of Sport Biomechanics, 7(4), pp330-343, 1991

[10] Zaho, Y. "Foot-ground forces on sloping ground when lifting", Ergonomics, 30(12), pp1671-1687, 1987



### 서 승 록

건국대 산업공학과  
건국대 산업공학과 석사  
동아대학교 산업공학과 공학박사  
대한산업공학회  
품질경영학회  
경영과학회 정회원  
대한인간공학회 이사

품질경영100선 심사위원

중소기업청 대구경북 기술지도위원

관심 분야 : 인간공학, 작업관리, 생산계획 및 통제



### 김 종 석

1982. 2. 23. 영남대 전자공학과  
졸업

1994. 2. 25. 대구대 대학원 석사  
학위 취득

2000. 2. 28. 대구대 대학원 박사  
학위 취득