Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering
Vol, 31, No. 4, pp.146－152, December 2008.

바닥면의 교란에 따른 자세균형능력의 변화

박성하† · 이승원

한남대학교 공과대학 산업경영공학과

Ability to Maintain Postural Control while Standing on Perturbed Surfaces

Sung Ha Park† · Seung Won Lee

Department of Industrial and Management Engineering, Hannam University

This study was aimed to understand the effects of perturbed floor surface on human postural stability while standing. Ten subjects were asked to stand quietly on the surface with two angles of inclination (0° and 5°), two contamination conditions (dry and oil-contaminated), and three commercial floor materials (ceramic tile, coated wood, and vinyl tile). During each trial, a force plate with data acquisition systems was used to collect subject's center of pressure (COP) position. Measured COPs were then converted into the length of postural sway path in both subject's anterior-posterior (AP) and medio-lateral (ML) axis. Results showed that the length of sway path in ML axis was significantly affected by the angle of inclination and the type of floor material. The sway length was increased significantly at the inclination angle of 5° and on the vinyl tile, respectively. The contamination condition, however, did not significantly affect the postural sway length in both AP and ML axis. The results imply that a proper treatment of floor surface and material is critical to preserving postural balance while standing.

Keywords : Postural stability, Perturbed surface, Center of pressure, Sway

1. 서 론

산업현장에서 빈번히 발생하고 있는 전도 및 추락(slips and falls) 재해를 예방하고 감소시키기 위한 연구는 인간공학 분야의 주요 관심사항의 하나이다. 미국의 산업재해 통계 자료에 따르면 미끄러지거나 전도 및 추락에 의해 상해를 입은 작업자의 약 30% 정도가 연간 평균 31일의 재해 손실 일을 기록하고 있으며, 산업체 사망재해의 약 14%가 추락에 기인된 것으로 보고하고 있다(Bureau of Labour Statistics, 2005).

노동부가 산재요양 승인된 재해를 대상으로 작성한 2008년 상반기 산업재해 발생현황 보고에 의하면 전도 및 추락재해는 협착재해와 함께 "3대 다발재해 집중관리 대상"으로 지정되어 중점 관리되고 있음에도 불구하고 재해자수가 증가하고 있는 것으로 나타났다(노동부, 2008). 협착재해는 전년 동기 대비 157명(2.0%) 이 감소하였으나, 전도 및 추락재해는 각각 1,093명(13.7%)과 826명(14.7%)이 증가되었다. 또한 사고성 사망재해 발생현황 분석에 의하면, 업종별로는 건설업에서 사망재해가 가장 많이 발생 하였으며(전체의 41.2%), 발생형태별로는 추락에 의한 사망자(전체의 31%)가 가장 많이 발생하였다(노동부, 2008). 추락 및 전도는 자체의 치명적인 위험성 뿐

논문접수일 : 2008년 09월 05일 논문수정일 : 2008년 10월 06일 게재확정일 : 2008년 11월 02일
† 교신저자 shpark@hnu.kr
※ 이 논문은 2007년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

만 아니라 추락 및 전도의 위험상황에서 자세균형을 회복하기 위해 작업자들이 신체 근골격계를 과도하게 사용함으로써 이차적인 근골격계 질환으로 전개될 위험성을 내포하고 있다(Courtney and Webster, 2001).

인간이 몸의 균형을 유지하는 것은 전도나 추락 없이 일상적인 행위나 생산 작업을 수행하기 위해 필수적인 것이다. Alexander et al.(1992)은 자세제어(postural control)를 "바닥 지지면 위에서 신체의 무게중심을 안정적 제한 범위 내에 유지하는 것"이라고 정의하였으며 자세제어 능력에 영향을 미치는 요인은 신체형상, 나이, 근력 등 인체 내의 본질적인 요인뿐 만아니라 수행 작업, 바닥 지지면, 진동을 포함한 작업환경 등의 외부적인 요인이 존재한다고 설명하고 있다. 이러한 내/외적 요인들에 의해 자세제어 능력의 저하가 초래될 수 있으며 결과적으로 추락 및 전도의 주요 원인의 하나로 작용할 수 있다. 인간의 자세 균형능력은 자세를 유지하기 위한 특정 신체부위의 움직임, 근육의 동작 등을 분석하거나 양발이 지면을 누르는 신체 압력중심(COP : center of pressure)의 위치 이동을 분석함으로써 확인할 수 있다. COP 분석에 의한 방법은 힘 판을 사용하여 신체의 압력중심(COP : center of pressure)의 위치좌표 변화를 관측하여 신체의 좌우 또는 전후 방향의 동요길이(sway length), 동요면적, 동요속도 등을 계산함으로써 정량화가 가능하며, 이러한 방법을 이용한 다양한 연구들이 보고되고 있다.

박재규 등(2004)은 작업자들이 인력을 이용하여 상자 등의 물자를 취급하는 과정에서 작업 대상물의 위치가 신체자세균형 능력 미치는 영향을 비교하기 위한 실험을 수행하여 작업 대상물을 앞으로 들거나 등짐으로 지는 자세보다 어깨로 드는 자세에서 신체자세의 동요길이가 유의하게 증가됨을 확인하였다. 박성하 등(2006)은 산업현장에서 발생 가능한 소음 등의 특성인 음의 주파수와 음압수준이 선 자세에서의 정적 신체균형능력에 미치는 영향을 분석하기 위한 연구를 수행하였으며, 신체 전후방향의 동요길이는 실험에서 적용된 소리의 2000Hz 영역에서 가장 안정되며, 상대적으로 저주파 및 고주파영역에서 유의하게 증가하는 것으로 보고하고 있다. Pan 등(2000)은 건설현장에서 주로 수행되는 건판(drywall sheet)을 들고 유지하는 작업환경에서 다양한 작업 자세에 따른 신체자세 균형능력을 파악하기 위해 동요길이를 이용하였다.

인간이 신체의 균형을 유지하는 기능은 근골격체계, 자기수용감각체계(proprioceptive system), 시각체계 및 전정감각체계(vestibular system), 감지/인지능력 등의 복합적인 작용에 의해 결정되는 것으로 알려져 있다(Astrand and Rodall, 1986). 이러한 인간 고유 기능의 신체균형 능력은 신체가 지지되고 있는 바닥면의 재질, 오염상태, 경사각 등 외부 환경요인에 의해 어떤 형태로든 영향을 받을 것으로 판단된다. 작업장의 바닥면 재질은 사용자의 안전성 및 쾌적성 관점에서 대단히 중요한 성능이다. 그러나 최근 상용화되어 사용되고 있는 바닥재들은 경제성, 장식성, 청소의 용이성과 같은 관리적 측면 등을 강조하여 미끄럼 방지에 대한 배려를 소홀히 하거나 배려한다고 해도 미끄럼에 대한 관련자들의 잘못된 인식으로 본래 기대하였던 효과를 제대로 얻지 못하고 있다. 또한 기계제조업, 건설업 등 다수의 작업장 바닥면들은 불가피하게 물, 오일, 기타 불순물 등 오염원에 노출되거나 바닥 지지면이 일정 수준의 경사를 이루게 됨으로써 신체 균형능력 저하의 주요 요인으로 작용할 수 있다.

본 연구는 신체 압력중심(COP) 변화를 이용한 신체동요길이 측정방법을 이용하여 신체를 지지하는 바닥면을 구성하는 주요 특성인 경사각도와 바닥면의 오염상태, 바닥면 재질에 따라 직립자세에서의 인간의 정적 신체균형능력의 변화를 파악하기 위해 수행하였다.

2. 연구방법

2.1 피실험자

피실험자는 지난 3개월 간 근골격계 관련 질환 경험이 없는 건강한 성인 남자 10명을 대상으로 하였다. 피실험자의 평균연령, 신장, 체중은 각각 23.7(±3.3) 세, 170.4(±9.6)cm, 72(±6)kg이었으며, 추가적으로 발 길이는 267.5(±7.5)cm로 나타났다. 발길이는 실험에 사용될 신발사이즈를 정의하는 과정에 이용되었다. 발 길이는 발뒤꿈치의 끝과 발가락의 끝 간의 거리를 오른발의 장축에 대하여 평행하게 측정하였다. 실험을 수행하기 전에 실험에 대한 목적과 전반적인 내용을 설명하고 피실험자의 서면동의를 받았으며, 실험자는 실험대상 결정을 위한 기본 정보를 마련하기 위해 설문지를 통하여 연령, 건강상태 등을 조사하였다. 실험을 실시하기 전 실험방법에 대한 충분한 훈련을 실시한 후 본 실험을 수행하였다.

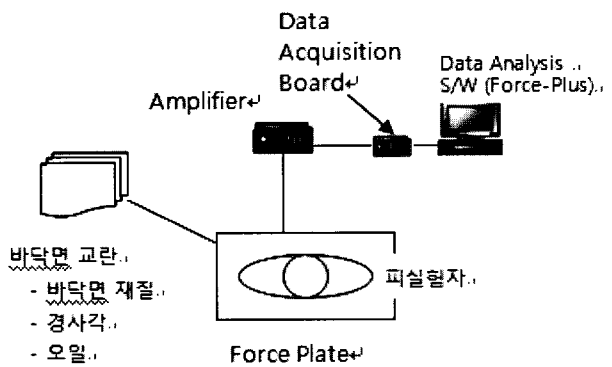
2.2 실험장비

신체압력중심(COP)의 위치좌표를 측정하기 위해서 입출력 보드인 Keithley사의 아날로그 및 디지탈 I/O board (DAS-1600)와 Bertec사의 힘판(규격 60cm × 40cm × 8.8cm, Model # K90701, Type 4060-08) 및 ForcePLUS 분석 소프트웨어를 사용하였다. COP는 힘 판에 설치된 4개의 로

드 셀에 작용하는 힘을 계측하여 전후 방향과 좌우방향을 중심으로 하는 힘과 모멘트의 평형조건을 이용하여 위치좌표를 결정하였다. 자료 수집을 위한 샘플링은 초당 60회(60Hz)로 하였으며, 수집된 COP 위치좌표는 신체 전후 및 신체 좌우의 동요길이를 계산하는데 이용되었다.

아래 실험계획에서 상세히 기술되어 있는 바닥면의 경사각도를 생성하기 위해 나무 판을 사용하여 신체를 중심으로 신체 좌우방향으로 바닥 지지면에 경사가 형성되도록 하였다. 오염물 상태는 자동차 엔진오일(3W-40)을 바닥 지지면에 뿌리는 방법으로 실제 작업상황에서 직면할 수 있는 작동유, 그리스 등에 노출된 바닥면을 모의하였다. 바닥면 재질에 따른 실험조건은 40cm × 40cm의 크기로 재단된 코팅나무, 세라믹 타일, 비닐 타일을 힘 판 위에 배치하여 조절하였다. <그림 1>은 실험에 사용된 장비의 구성도를 보여주고 있다.

실험 재료 중 하나인 신발은 신발 바닥면과 지지면 사이의 마찰계수 변화요인을 제거하기 위해 K사 생산 작업시 이용되는 실내화로 동일한 신발을 사용하였고, 신발 사이즈는 260mm, 265mm, 270mm, 275mm의 4종류로 피실험자들의 발 길이 측정 결과와 선호도에 따라 설정하였다.



<그림 1> 압력중심(COP) 위치좌표 측정을 위해 실험에 사용한 장비의 구성도

2.3 실험계획

실험에 적용된 독립변수는 2수준의 바닥면 경사각도, 2수준의 오염물상태 및 3수준의 바닥면 재질로 구성하여 총 12개(2 × 2 × 3) 실험조건에서 반복측정이 이루어지도록 하였다. 바닥면 경사각도는 경사가 없는 상태(0°)와 경사가 있는 상태(5°)로 하였으며, 오염물 상태는 바닥지지면에 오염물이 없는 상태(dry)와 오일이 있는 상태(oil-contaminated)로 하였다. 바닥면 재질은 산업현장에서 상용화되어 많이 사용되고 있는 코팅나무(coated wood), 세라믹 타일(ceramic), 비닐 타일(vinyl)로 하였다.

실험분석에 이용된 종속변수는 1초당 60회의 주기로 신체 압력중심(COP)의 위치좌표를 측정한 후, 이들 좌표를 이용하여 계산된 신체 좌우(Medio-Lateral : ML) 및 신체 전후(Anterior-Posterior : AP) 방향의 동요길이(sway length)로 하였다.

2.4 실험절차

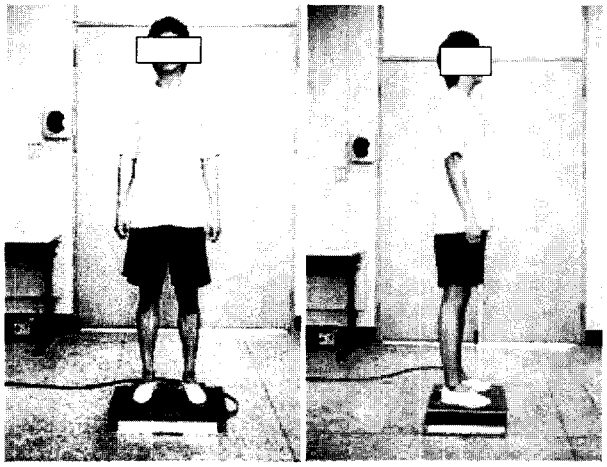
실험에 앞서 독립변수의 수준에 따른 실험의 목적과 방법, 경사각도에 의한 잠재적인 위험 정도(미끄러짐)를 설명하였으며, 실험은 참여 동의서와 설문지 작성, 실험 실시의 2단계로 수행하였다. 실험참여에 동의한 피실험자에 대해서는 설문지를 통하여 신체의 기본 정보와 신체 상태를 파악하였다. 설문조사 결과, 실험에 영향을 미칠 수 있는 근골격계 질환이 발견된 경우 실험대상에서 제외하였다.

실험 당일에는 각 수준의 실험조건에서 COP의 위치좌표를 측정 하는 동안 직립하여 선 자세에서 안정을 유지하고 개안 상태에서 전면의 벽을 주시하도록 하였으며, 가능한 한 신체의 균형 상태를 유지하도록 지시하였다. 측정과정 중 피실험자 별로 발의 위치를 일정하게 하기 위해 양발 뒤꿈치 중심의 간격은 15cm, 양발을 벌리는 각도는 30°가 되도록 힘 판 위에 흰색 테이프로 표시하고 그 위에 서도록 하였다. COP 자료획득을 위한 샘플링 주파수는 60(Hz)로 하였으며, 바닥면 재질(wood, ceramic, vinyl), 경사각도(0°, 5°), 오염물 상태(dry, oil-contaminated)의 조합은 무작위의 순서로 제시하여 각 실험조건에서 20초 동안 측정하였다. 실험 중 미끄러짐 등의 자세 불균형이 있는 경우와 피실험자의 실험 포기 요구가 있는 경우에는 실험을 중지하도록 하였다. 또한 실험 완료된 바닥 재질 및 오염된 실내화(무진화)는 물로 세척, 건조 후 다음 실험에 이용하였다. <그림 2>는 힘판 위에서 COP의 위치좌표를 측정하는 피실험자의 실험장면을 보여주고 있다.

3. 실험결과

신체자세의 동요 정도를 정량적으로 분석하기 위해 각 실험조건에서 측정된 COP 위치좌표를 이용하여 신체 좌우(Medio-Lateral : ML) 및 신체 전후(Anterior-Posterior : AP) 방향의 동요길이(Sway length)를 계산하였다. 동요길이는 샘플링한 COP 위치좌표에서 전후 프레임간의 직선거리를 정한 후 이를 모두 합산하는 방법으로 계산하였다. 결과적으로 동요길이가 길수록 신체의 움직임

이 많아지고 자세의 균형능력이 저하 되어 있음을 의미한다. Statview(5.0) 통계 분석용 소프트웨어를 이용하여 획득된 동요길이 자료에 대한 ANOVA 분석을 실시하였다. 분산분석 결과 유의한 변수에 대해서는 Fisher's PLSD를 이용하여 수준간 평균 비교를 하였으며, 통계적 유의 수준은 전체적으로 5%로 설정하여 분석하였다.



<그림 2> 실험 중 바닥재질에 따른 피실험자 정적자세 (정면 및 측면)

신체 좌우방향(ML axis)의 동요길이에 대한 분산분석을 수행한 결과, 바닥면 재질에 대한 주효과가 유의수준 5%에서 유의한 것으로 나타났다($F_{2,108} = 5.395$, $p = 0.0058$). 또한 바닥면 경사각도에 대한 주효과도 유의한 것으로 나타났다($F_{1,108} = 48.982$, $p < 0.0001$). 그러나 오염물 상태에 대한 주효과는 유의하지 않은 것으로 분석되었다($F_{1,108} = 0.6077$, $p = 0.265$). 경사각도×오염물상태의 2인자 교호작용($F_{1,108} = 1.665$, $p = 0.1997$), 경사각도×바닥면 재질의 2인자 교호작용($F_{2,108} = 0.816$, $p = 0.4449$), 오염물상태×바닥면재질의 2인자 교호작용($F_{2,108} = 1.683$, $p = 0.1907$)과 경사각도×오염물상태×바닥면재질의 3인자 교호작용($F_{2,108} = 3.31$, $p = 0.403$)은 모두 유의하지 않은 것으로 분석되었다. <표 1>은 신체 좌우 방향의 동요길이에 대한 분산분석 결과를 보여주고 있다.

<표 2>는 분산분석 결과에서 주효과가 유의한 것으로 나타난 경사각도에 대하여 수준간 평균비교(multiple comparisons)를 수행한 Fisher's PLSD 분석 결과를 보여주고 있으며, <그림 3>은 바닥면 경사각도 각각의 수준(0°, 5°)에서 피실험자들의 평균 동요길이를 비교하여 보여주고 있다. 그림에서와 같이 바닥면의 경사각도가 형성되는 경우 피실험자의 신체 좌우 방향의 동요길이는 유의하게 증가하여 결과적으로 신체자세 균형 능력이 감소됨을 알 수 있다.

<표 1> 신체 좌우방향의 동요길이에 대한 분산분석표

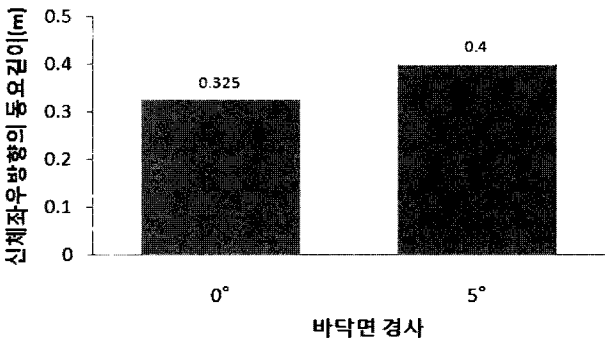
Source	DF	SS	MS	F-Value	P-Value	
바닥면 경사각도	1	0.311	0.311	48.982	< .0001*	S
오염물상태	1	0.002	0.002	0.6077	0.265	
바닥면 재질	2	0.076	0.038	5.395	0.0058*	S
바닥면경사각도 × 오염물상태	1	0.012	0.012	1.665	0.1997	
바닥면경사각도 × 바닥면 재질	2	0.012	0.006	0.816	0.4449	
오염물상태 × 바닥면재질	2	0.024	0.012	1.683	0.1907	
바닥면경사각도 × 오염물상태 × 바닥면 재질	2	0.047	0.023	3.310	0.403	
잔 차	108	0.763	0.007			

주) * : 유의수준 0.05에서 유의함.

<표 2> 경사각도에 대하여 수준간 평균비교를 수행한 Fisher's PLSD 분석결과

Fisher's PLSD for 신체좌우방향의 동요길이				
Effect : 바닥면 경사각도				
Significance Level : 5%				
	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
0°	-.102	0.03	< .0001*	S
5°				

주) * : 유의수준 0.05에서 유의함.



<그림 3> 바닥면 경사에 따른 각 수준에서의 신체좌우 방향의 평균 동요길이

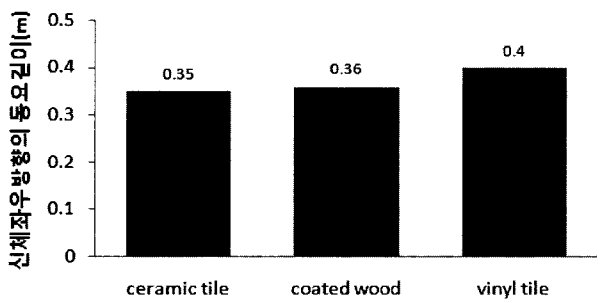
<표 3>은 분산분석 결과 유의한 것으로 나타난 바닥면 재질에 대하여 수준간 평균비교를 수행한 Fisher's PLSD 분석 결과를 보여주고 있다. 세 가지 종류의 바닥면 재질에 대한 평균 동요길이를 각각 비교한 결과, 세라믹타일과 비닐타일($p = 0.022$), 코팅나무와 비닐타일($p = 0.0181$) 사이에서 각각 신체 좌우방향의 동요길이에 유의한 차

이가 있는 것으로 나타났다. 그러나 세라믹 타일과 코팅나무 재질 사이에는 동요길이의 유의한 변화를 확인할 수 없었다($p = 0.4603$). <그림 4>는 바닥면 재질 각 수준에서 신체 좌우방향의 평균 동요길이를 보여주고 있다. 그림으로부터 신체 좌우방향의 동요길이는 비닐타일 재질의 바닥면에서 유의하게 증가되며, 결과적으로 코팅나무와 세라믹타일 재질의 바닥면에 비해 신체균형 유지에 어려움을 초래하는 것으로 해석할 수 있다.

<표 3> 바닥면 재질에 대하여 수준간 평균비교를 수행한 Fisher's PLSD 분석 결과

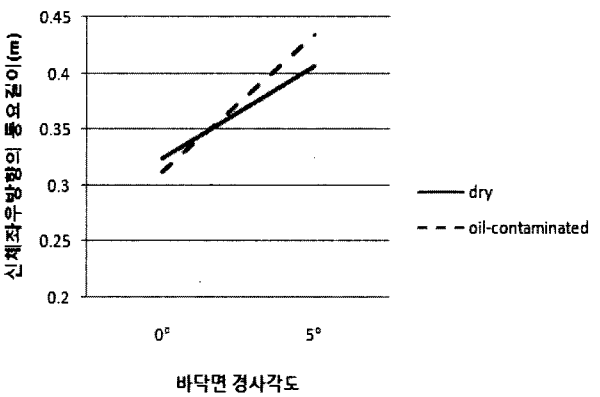
Fisher's PLSD for 신체좌우방향의 동요길이				
Effect : 바닥면 재질				
Significance Level : 5%				
	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
Ceramic/ Wood	-.014	0.037	0.4603	
Ceramic/ Vinyl	-.059	0.037	0.022*	S
Wood/ Vinyl	-.045	0.037	0.0181*	S

주) * : 유의수준 0.05에서 유의함.



<그림 4> 바닥면 재질에 따른 각 수준에서의 신체좌우방향의 평균 동요길이

마지막으로 오염물 상태에 대한 주효과, 즉 바닥면이 깨끗한 상태에서와 오일에 노출된 상태에서의 신체자세 동요의 변화는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 오일 등의 오염원에 의해 바닥면의 마찰계수가 저하되더라도 실험에서 적용한 경사각 5° 범위 내에서 직립자세로 서있는 경우 실제로 미끄러짐 현상이 발생하지 않으면 신체의 균형을 그대로 유지할 수 있음을 의미한다. 그러나 전술한 바와 같이 경사각도와 오염물상태의 2인자 교호작용의 p 값은 0.1997으로 통계적으로 유의한 수준은 아니나 의심이 가는 수준이다. 경사각도와 오염물상태의 교호작용이 있은 경우, 경사각도의 영향이 오염물상태에 혼합되어 오염물상태의 주효과가 유의하지 않은 것으로 나타날 수 있음을 고려하여 교호작용도를 작성하여 경사각도와 오염물상태의 교호작용을 추가적으로 분석하였다(<그림 5> 참조). 교호작용도를 분석한 결과 경사각도와 오염물상태의 교호작용이 존재하는 것으로 보이며 이러한 교호작용은 오염물상태의 주효과가 유의하지 않은 원인이 될 수 있다고 판단된다. 결과적으로 경사각도가 5°인 수준에서는 오염물상태의 주효과가 유의하다는 해석이 가능하다. 실제로 경사각도가 5°인 경우, 오염물이 없는 상태(dry)에서의 신체좌우방향 평균 동요길이는 0.406m 로 오염된 상태(oil contaminated)에서의 평균동요길이 0.434m 비해 안정된 상태를 보여주고 있다.



<그림 5> 경사각도와 오염물상태의 2인자 교호작용도

신체 전후방향(AP axis)의 동요길이에 대한 분산분석 결과는 신체 좌우 방향에 대한 분석결과와 상이한 모습을 보여주고 있다. 바닥면 재질($F_{2,108} = 0.414$, $p = 0.6623$), 바닥면 경사각도($F_{1,108} = 1.967$, $p = 0.1778$), 오염물 상태($F_{1,108} = 1.781$, $p = 0.1741$)에 대한 주효과 및 경사각도×오염물상태의 2인자 교호작용, 경사각도×바닥면재질의 2인자 교호작용, 오염물상태×바닥면재질의 2인자 교호작용, 경사각도×오염물상태×바닥면재질의 3인자 교호작용은 유의수준 5%에서 각각 유의하지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 바닥면 재질의 변화, 경사, 오염물 등에 의해 바닥 지지면이 불안정 상태가 되었음에도 불구하고 피실험자들은 신체전후 방향의 균형을 유지하였음을 의미한다. 다만 바닥면 경사각도와 오염물 상태에 대한 주효과 검정의 p-값이 각각 0.1778과 0.1741로 바닥면에 경사가 주어지거나 오일에 의해 오염되어 마찰계수가 변화되었을 때 피실험자들은 신체 전후방향의 균형 유지에 다소 어려움을 격은 것으로 생각되나 통계적으로 유의한 수준은 발견할 수 없었다. <표 4>는 신체 전후방향 동요길이에 대한 분산분석 결과를 보여주고 있다.

<표 4> 신체 전후방향의 동요거리에 대한 분산분석표

Source	DF	SS	MS	F-Value	P-Value	
바닥면 경사각도	1	0.004	0.004	1.967	0.1778	
오염물상태	1	0.014	0.007	1.781	0.1741	
바닥면 재질	2	0.003	0.001	0.414	0.6623	
바닥면경사각도 × 오염물상태	1	0.013	0.013	3.651	0.1590	
바닥면경사각도 × 바닥면 재질	2	0.001	0.001	0.206	0.8141	
오염물상태 × 바닥면재질	2	0.002	0.001	0.353	0.7034	
바닥면경사각도 × 오염물상태 × 바닥면 재질	2	0.006	0.003	0.886	0.4158	
잔 차	108	0.332	0.003			

주) * : 유의수준 0.05에서 유의함.

4. 결론 및 토의

신체의 자세균형을 적절히 유지하는 능력은 일상적인 생활을 영위하기 위한 활동뿐만 아니라 산업체에서의 생산 활동에서 전도 및 추락재해를 피하기 위해 필수 불가결한 것이다. 평편하고 견고하게 지지되어 있는 바닥면에 양발로 균형을 유지하며 서있을지라도 미세한 수준의 신체자세 동요(postural sway)는 발생하게 되며, 이러한 자세동요는 바닥면에 구현되는 압력중심(center of pressure : COP) 좌표의 변화로 확인이 가능하다. 외부 환경요인 등에 의해 바닥면이 안정되게 지지되지 못하고 불안정한 상태에서 또한 신체자세 동요에 의한 COP 변화는 보다 큰 수준에서 발생할 수 있다.

제조업, 건설업 등 다양한 작업환경에서 작업자들은 불안정한 바닥 지지면 위에 서서 작업하여야 하는 상황에 직면하게 된다. 바닥 지지면은 수분, 파면조각, 오일 등에 의해 마찰계수가 저하된 상태가 될 수 있으며, 작업장의 여건에 따라 불가피하게 바닥 지지면의 경사가 발생할 수도 있다. 작업자들은 또한 작업과정 중에 다양한 유형의 바닥면 재질 위에서 작업하게 된다. 본 연구는 외부 환경요인에 의해 바닥 지지면이 불안정 상태에 있을 경우 인간의 자세 균형능력의 변화를 정량화하여 파악할 목적으로 수행되었다.

양발이 지지되는 바닥면의 재질에 따른 자세동요의 변화를 알아보기 위해 작업현장에서 바닥면으로 많이 채용하고 있는 코팅나무(coated wood), 세라믹 타일(ceramic tile), 비닐 타일(vinyl tile)을 비교하였다. 실험 자료를 분석한 결과, 피실험자들은 비닐타일 재질의바닥면 위에서 신체 좌우방향 COP 위치좌표의 이동길이가 유의하게 증가되는 현상을 보임으로써 비닐재질은 코팅나무 재질과 세라믹 타일 재질의 바닥면에 비교하여 신체자세 균형을 유지하는데 불리한 것으로 보인다. 코팅나무 재질과 세라믹 타일 재질 간에는 유의한 변화를 발견할 수 없었다. 일반적으로 비닐재질은 경제적인 측면에서 가격이 상대적으로 저가이고 관리적인 측면에서 청소성이 우수하다는 많은 장점을 갖고 있다. 그러나 실험 결과로부터 작업장 바닥면 재질은 경제적인 측면이나 청소를 위한 관리적 측면 외에도 작업자의 자세균형 유지를 위한 안정성을 고려하여 신중하게 선택되어야 할 것으로 판단된다.

실험에서 처리된 바닥면 교란요인들 중에 인간의 자세균형 능력에 유의한 영향을 주는 것으로 확인된 또 다른 요인은 바닥 지지면의 경사각이다. 바닥 지지면에 미세한 경사가 주어지는 경우(실험에서 5°) 피실험자의 신체좌우방향 동요길이는 경사가 없는 경우에 비교하여 유의하게 증가하였다. 경사진 바닥면에서 나타날 것으로 예상되는 마찰저항의 감소에 따른 미끄러짐 현상을 감안하면 신체자세 균형 능력의 저하에 따른 전도 및 추락 위험성은 배가될 것으로 판단된다. 산업체 현장에서 고용주 및 관리자들은 바닥 지지면의 경사를 가능하면 제거하도록 노력하여야 하며 피할 수없는 경우 미끄럼방지 재질(anti-slip floor material)의 사용 등 자세 균형능력 저하를 보완할 방법을 고려하여야 할 것으로 생각된다.

이상과 같이 본 연구에서는 바닥면의 재질변화, 경사각 등 지지면의 불안전 상태에 따른 전도 및 추락 위험성 증가를 신체자세 균형 능력의 변화로써 확인하였다. 결과적으로 작업자들은 바닥면의 교란 요인에 의해 자신들의 신체자세 균형능력이 현저하게 저하되고 전도 및 추락의 위험에 직면될 수 있음을 인식하여야 한다.

이러한 결과에도 불구하고 본 연구는 실용적으로 적용하기에 몇 가지 제약사항을 갖고 있다. 첫째, 바닥면으로 실험에서 사용된 나무, 세라믹, 비닐 재질은 각기 동질의 바닥 재질을 대표할 수 없다. 예를 들어 동일한 비닐 재질일 경우에도 표면처리 방법에 따라 마찰계수 등이 달라질 수 있으며 견고성 등 재질의 물리적 특성에 따라 신체를 지지하는 정도가 변화할 수 있어 역시 신체자세 동요에 영향을 줄 수 있다. 신체자세 균형유지에 효과적인 바닥 재질의 명확한 선택을 위해서는 바닥면의 재질뿐만 아니라 표면처리 상태, 재질의 견고성 등 인간의 균형능력에 영향을 줄 수 있는 다양한 요인을 복합적으로 분석하여야 할 것으로 판단된다.

둘째, 실험에서 바닥면의 경사각은 신체 전후방향의 경사를 배제하고 신체 좌우방향에만 적용되었다. 신체 전후방향의 자세동요가 모든 실험조건에서 유의한 변화

를 보이지 않은 이유가 될 수 있다. 결과적으로 실험에서 적용한 바닥면이 교란된 상황에서 인간의 전후방향 자세균형 능력이 좌우방향 자세균형 능력에 비해 우수하다는 실험결과를 신뢰하기에 한계가 있으며, 추후 신체 전후방향의 경사를 함께 고려한 연구를 통하여 바닥면의 경사에 의한 자세균형능력 변화에 대한 보다 종합적인 분석이 가능하고 판단된다.

셋째, 본 실험에 앞서 수행했던 사전실험(pilot test) 과정에서 피실험자들은 오일이 뿌려지고 5°를 초과하는 경사각을 형성한 지지면 위에서 미끄러짐에 대한 불안을 호소하였고 실제로 미끄러지는 현상이 발생하였다. 따라서 바닥면의 경사각은 본 실험에서 5°로 한정되었다. 실험결과를 분석하는 과정에서 전술한 바와 같이 오일의 상태(즉, 바닥면이 깨끗한 경우와 오일에 노출된 경우)에 따른 신체자세 동요의 차이점은 발견할 수 없었다. 바닥면의 마찰계수가 저하되더라도 신체의 균형을 그대로 유지할 수 있음을 의미한다. 그러나 이러한 결과는 실험에서 적용한 경사각 5° 범위 내에서 실제로 미끄러짐 현상이 발생하지 않는 경우로 제한하여 해석되어야 한다. 그러나 추가적인 교호작용 분석에 의하면 경사각도의 영향이 오염물상태에 혼합되어 오염물상태의 주효과가 유의하지 않은 것으로 보이며 결과적으로 경사각도가 5°인 수준에서는 오염물 상태에 따른 자세균형 능력의 차이가 유의하다는 해석이 가능하다.

참고문헌

[1] 노동부; "2008년 상반기 산업재해 발생현황", 2008.

[2] 박성하, 이승원; "소음수준에 따른 신체자세동요의 변화", 대한인간공학회지, 25(3) : 1-5, 2006.

[3] 박재규, 박성하; "인력물자취급작업시 작업 대상물의 위치가 신체자세동요에 미치는 영향", 대한인간공학 회지, 23(4): 1-8, 2004.

[4] Alexander, N., Shepard, N. Gu, M.; "Postural control in young and elderly adults when stance is perturbed: Kinematics", J Gerontol, 47: M79-87, 1992.

[5] Astrand, P.O. and Rodahl, K.; Textbook of Work Physiology : Physiological Bases of Exercise (3rd ed.), McGraw-Hill, Book Company, New York, 1986.

[6] Bureau of Labor Statistics; "Report USDL -05-1598," 2005.

[7] Courtney, T and Webster, B; "Antecedent Factors and Disabling Occupational Morbidity-Insights from the New BLS Data," AIHAJ-American Industrial Hygiene Association, 62 (5) : 622-632, 2001.

[8] Pan, C. S., Chiou, S., Long D., Zwiener, J. and Skidmore, P.; "Postural Stability During Simulated Drywall Lifting and Hanging Tasks," Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress, (5) : 679-682, 2000.