

Effects of Footwear and Workload on Static Body Balance of Farmers

Sung Ha Park[†]

Department of Industrial & Management Engineering, Hannam University

농업인의 작업화 유형과 작업 부하가 정적 자세균형에 미치는 영향

박 성 하[†]

한남대학교 산업경영공학과

Postural stability can reduce the likelihood of critical slip and fall accidents in workplaces. The present study aimed to analyze the effect of shoes type on the ability of postural control during quiet standing. The effect of workload on the body balance was also of primary concern. Thirteen healthy male undergraduate students participated voluntarily in the experimental study. Standing on a force plate with wearing slippers, sports shoes, or safety shoes, two-axis coordinate on subjects' center of pressures (COP) was obtained in the two levels, rest and workload. For the workload level, subjects performed treadmill exercise to reach the predetermined level of physical workload. By converting the position coordinates of COPs, the postural sway length in both anterior-posterior (AP) axis and medio-lateral (ML) axis was assessed. ANOVA results showed that, in AP direction, wearing slippers significantly increased the postural sway length compared to wearing sports shoes or safety shoes. No significant difference in the mean sway length in AP axis was observed between sports shoes and safety shoes. In ML direction, both the workload and the shoes type did not significantly affect the mean length of postural sway. However, the postural sway length increased marginally with the slippers especially during the workload condition. This study explains wearing slippers may interfere with the ability of postural control during quiet standing. Physical workload decreases the ability of postural stability further.

Keywords : Sway Length, Shoes Type, Postural Stability, COP, Physical Workload

1. 서 론

육체적 작업부하가 가중되는 산업현장에서 신체 균형 능력의 저하는 넘어짐과 떨어짐 재해 발생과 밀접한 관계를 갖고 있다. 현재 국내의 산업재해 통계 분석 등에서 사용중인 용어로서 떨어짐은 높이가 있는 곳에서 사람이 떨어짐(구 명칭 : 추락), 넘어짐은 사람이 미끄러지거나

넘어짐(구 명칭 : 전도)으로 정의되어 있다.

고용노동부의 2018 산업재해현황분석 자료에 따르면[11], 사고 재해자들의 재해 유형은 넘어짐(19,077명, 21.0%), 떨어짐(15,558명, 17.1%), 끼임(13,196명, 14.5%), 절단·베임·찢림(9,905명, 10.9%), 부딪힘(7,315명, 8.1%) 순으로 많이 발생하였다. 넘어짐과 떨어짐이 사고성 재해의 주요 재해 원인으로 나타났으며, 이전 년도에 대비하여도 여전히 증가 추세에 있다. 또한 중대재해로 분류되는 업무상사고 사망재해는 업종별로는 건설업(485명, 전체의 49.9%)에서, 발생형태는 떨어짐에 의한 사망자(376명, 전체의 38.7%)가 가장 많이 발생한 것으로 분석되었다.

Received 30 March 2020; Finally Revised 14 May 2020;
Accepted 3 June 2020

[†] Corresponding Author : shpark@hnu.kr

개별 농업인을 포함한 농업 업종의 재해현황에 대한 체계적인 통계자료는 타 업종에 비해 많지 않다. 산업별 산업재해 현황자료에 따른 농업 업종의 천인율은 7.76로, 전체 산업의 평균 천인율 5.36 에 비해 다소 높은 것으로 나타나고 있다[11]. 그러나 이러한 자료는 산업재해보상 보험법이 적용되는 사업체에서 발생한 산업재해 중 동법에 따른 업무상 사고와 업무상 질병으로 인정된 사망 또는 4일 이상 요양이 필요한 재해(지방 고용노동관서 산재미보고 적발재해 포함)를 조사대상으로 한 것이므로 개별 농가들의 재해를 전부 설명해 주지는 않는다[11].

농촌진흥청에서 개별 농가를 대상으로 인터뷰 방식으로 작성한 농업인의 업무상 질병 및 손상 조사 자료는 농업인의 재해현황을 파악할 수 있는 유용한 자료이다[17]. 본 자료에 따른 2017년 농업인의 발생형태 별 업무상 손상은 전도(넘어짐)가 22.6%, 추락(떨어짐)이 12.55% 순으로 나타나, 사고성 재해인 농기계 운전 사고(약 21%)를 제외하면 넘어짐과 떨어짐이 전체 농작업 손상의 상당 부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 또한 전도 경험 별 농업인 수를 분석한 자료에 의하면 조사대상 농업인의 약 10.6%가 최소 1회 이상 넘어짐 사고를 경험한 것으로 보고되고 있다. 추가적으로 전도 예방 조치 여부 별 농업인 수 통계자료(2015년)에 의하면 조사대상 농업인의 약 58.5%가 넘어짐 예방 조치를 하지 않은 상태에서 농작업을 수행하고 있다고 답변하였다.

일반적으로 농작업 환경에서 넘어짐 사고는 작업자의 신발과 바닥면 사이의 마찰력이 부적절하여 미끄러지거나 작업중 바닥면의 굴곡이나 바닥에 놓여진 장애물 등에 걸려 넘어지는 형태로 발생한다. 농촌진흥청 농업과학기술원의 "농업인의 전도사고 종류와 예방(2016) 자료에 의하면, 넘어짐 사고는 바닥면이 경사지이거나 진흙과 같이 항상 젖어 있거나 온도 저하에 따라 얼어 있는 경우처럼 작업환경적인 측면도 있으나, 노후화된 신발 또는 바닥의 마찰력이 낮은 신발 착용 및 작업자의 피로가 원인이 될 수 있으며 실제로 슬리퍼를 신고 작업 중에 넘어짐 재해가 발생한 사고사례들이 보고되고 있다[15]. 이는 슬리퍼, 고무신, 노후한 일반화 등과 같은 부적절한 작업화 착용에 따른 인적/관리적 원인에 의해 발생할 수 있음을 말해준다. 특히 여성 농업인은 농작업과 가사일을 병행하는 경우가 많아 작업화가 아닌 뒷굽이 높은 슬리퍼, 일반 운동화 등을 착용하고 수확 작업 등의 농작업에 임하는 사례가 많아 넘어짐 사고의 위험에 더욱 노출되고 있다고 볼 수 있다.

작업중 인간이 균형을 유지하며 서 있을 수 있는 능력은 기본적인 근골격계의 적절한 작용과 시각체계, 전정감각체계(vestibular system), 고유수용감각체계(proprioceptive system) 등을 포함한 다양한 감각 체계의 상호 작용에 의해

영향을 받으며[2, 5, 12, 13, 14], 이러한 감각체계들은 육체적 또는 정신적 피로의 및 기타 환경적인 변인과 같은 본질적인 요인과 부적절한 작업화 착용과 같은 외적인 요인들에 의해 영향을 받을 수 있다[9]. DeBusk[5] 등은 표준형 군화와 바닥면을 개선한 신형 군화 착용에 따른 자세균형 능력의 변화를 분석한 실험연구에서, 바닥면을 포함한 군화의 설계 특성이 훈련중인 병사들의 자세균형 능력에 유의한 영향 있다고 보고하였다.

다양한 유형의 농작업에 종사하는 농업인들은 육체적인 작업을 수행함에 따라 생리학적인 작업부하를 경험하게 되며 농기구, 농기계 및 작업대상 농산물이 중량물인 경우 이러한 작업부하는 가중될 수 있다. 중량물을 취급함에 따라 발생하는 작업부하는 작업자의 힘 사용을 늘리고 비효율적인 보행을 초래하므로 결과적으로 자세균형 능력을 저하시킬 수 있다[8]. Franz와 Kram[7]은 평지와 비교하여 경사면을 걸을 때 나타나는 장지신근(leg extensor) 동작과 힘 사용량 증가는 자세 균형 능력 저하와 밀접한 관련이 있음을 보고하였다.

농업인의 농업활동 안전사고를 최소화하기 위해 가장 빈번히 발생하는 넘어짐 재해의 위험 정도를 객관적으로 평가해 볼 필요성이 있다. 넘어짐 사고 발생의 요인은 작업환경 요인 및 개인적 요인 등 다양하게 존재할 수 있으나 자세균형 능력의 저하는 넘어짐 재해를 유발하는 직접적 요인 또는 다른 요인들과의 복합적 요인으로 작용할 수 있다. 본 연구는 농작업 환경에서 빈번하게 착용하는 작업화의 유형이 선 자세에서 정적 균형을 유지하는 인간의 자세제어 능력에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하기 위해 수행하였다. 추가적으로 작업 중 누적되는 육체적인 작업 부하(육체적 피로)가 자세 균형 능력에 어떠한 변화를 주는가에 대한 분석도 주요한 관심 사항으로 하였다.

2. 실험 방법

2.1 피실험자

최근 5개월 이내에 근골격계질환을 경험하지 않은 성인 남성(연령 : 22.5±2.2세, 신장 : 173.9±6.2cm, 체중 : 68±6.3, 휴식시 심박수 : 69.5±10.7) 13명이 실험에 참여하였다. 실험 참여를 희망한 지원자에게는 실험의 목적과 방법, 작업부하 부과시 있을 수 있는 위험성에 대해 간략한 설명을 듣는 기회가 주어졌으며, 실험 참여에 대한 서면 동의를 받고 나이, 키, 체중, 휴식시 심박수 등의 기초 자료를 조사하였다. 실험 전날에는 신체의 자세균형 능력에 영향을 줄 가능성이 있는 약물이나 알코올 섭취, 심한 육체적 운동 등을 자제하도록 주의하였다.

2.2 자세균형 능력의 정량화

COP(Center of Pressure, 압력중심)은 일정한 구역에 압력이 분포되어 작용할 때 압력의 평균 지점으로 정의할 수 있으며, 동적 또는 정적 상태에서 신체가 바닥면에 가하는 압력의 중심을 표현한다. COP는 인간의 자세제어 능력을 분석하는 기본 지표로써 다양한 형태로 정량화되어 이용된다. 일반적으로 신체의 자세 균형을 유지하기 위한 감각기관들의 상호작용이 원활하지 못한 상태에서는 신체의 움직임에 따른 자세의 동요가 증가하고 결과적으로 보다 많은 COP 위치 변동을 관측할 수 있기 때문이다.

COP의 위치 변화는 힘판(force platform) 등을 사용해 측정할 수 있으며, 측정된 2차원의 COP 위치좌표는 자세 동요길이(sway length), 동요면적(sway area), 동요속도(sway velocity) 등 다양한 형태로 변환하여 정량화가 가능하다[6, 12, 13, 14]. 동요속도는 COP 측정 시간이 실험 조건에 따라 다른 경우 의미가 있을 수 있으나, 일반적으로 실험계획에서 측정 시간을 일정하게 지정하면 동일한 시간 동안 자세동요 경로 상에서의 속도이므로 동요길이를 이용한 분석과 상이하지 않다. 동요면적은 Mean circle method를 적용한 면적, PCA(principal component analysis)를 이용한 타원 면적 등으로 계산될 수 있으나 어느 방법이든 근사값 추정이 요구되며 따라서 오차를 포함하게 된다. 이러한 배경에서 본 연구에서는 균형 능력을 평가하기 위한 정량화 지표로써 동요길이를 선택하였다.

본 실험에서 동요길이는 서 있는 신체자세를 기준으로 전후 방향(AP(anterior-posterior) axis) 동요길이(SL_AP)와 좌우방향(ML(medio-lateral) axis) 동요길이(SL_ML)를 분석하였다. 세부적으로 동요길이는 측정간격 60Hz 로 측정된 COP 위치좌표(x, y)들 중에서 전후 데이터 간의 거리(Euclidean Distance)를 모두 합한 값이다(아래 신체 전후 방향 동요길이계산식 참조)[13]. COP 위치좌표의 움직임이 많을수록 동요길이는 증가하며 결과적으로 자세 균형 능력이 떨어진다는 해석이 가능하다[13].

$$SL_AP = \sum_{i=1}^{n-1} |x_{i+1} - x_i|$$

여기서, SL_AP : 신체 전후 방향 동요길이

i = 1~n : 좌표 데이터 일련번호

x_i : i번째 COP 위치좌표의 AP 방향 좌표

2.3 실험 장비

피실험자들의 COP 위치좌표를 측정하기 위해 Bertec사 제조 힘판(Model# K90701, 4060-08Type, Size : 60×40×8.8cm)을 사용하였으며, 측정은 1초당 60회(60Hz)의 간격으로 하였다.

실험계획에서 설정한 육체적 작업부하는 속도 조절과 바닥면의 각도를 조절할 수 있는 트레드밀(모델 kmax-1.5, Bestop)을 이용하여 부과하였다. 또한 실험 전 휴식 상태, 작업부하 부과를 위한 트레드밀 운동을 수행하는 단계 및 실험 종료 후 회복 단계에서의 피실험자 심박수를 기록하기 위해 손목에 착용하는 유형의 심박수 측정장비(SPORT TESTERTM, Polar)를 이용하였다. 그 밖에, 육체적 작업 부하가 부과된 후 피실험자들이 느끼는 힘든 정도를 주관적으로 평가하기 위해 Borg -RPE 스케일을 이용하였다[4]. Borg의 RPE 스케일은 피실험자들이 주관적으로 느끼는 육체적 작업 부하를 6~20점 스케일로 평가하는 수단으로써 6점에 근접할수록 “육체적 피로를 느끼지 않음”, 20점에 근접할수록 “매우 부담스러움”을 의미한다[4].

2.4 실험 계획

실험계획에서 독립변수는 2수준의 작업부하(Workload)와 3수준의 작업화 유형(Shoes Type)으로 정하여 이원배치법 실험으로 분석하였으며, 6개의 모든 수준조합(2수준×3수준)에서 반복적으로 자료를 수집하였다. 반복적으로 측정함에 따라 피실험자에게 발생할 수 있는 훈련 효과를 최소화하기 위해 6개의 수준 조합에 따른 실험조건은 무작위의 순서로 부과하였다.

작업부하 2수준은 육체적 작업을 부과하지 않은 휴식 상태(Rest)과 육체적 작업을 부과한 작업부하 상태(Workload)로 조절되었다. 육체적 작업부하는 ACSM[1] 가이드라인에서 제시한 작업량에 따른 피로수준 기준을 활용하였다. 휴식수준은 육체적 작업을 부과하지 않은 상태로 ACSM[1] 가이드라인의 1단계 수준에 해당되며, 작업부하 수준은 동 가이드라인의 3단계 피로 수준에 맞춰지도록 작업량을 조절하여 실험하였다. 작업부하 부과를 위한 작업은 트레드밀 운동을 통해 이루어졌으며, 세부적으로 트레드밀의 속도, 바닥면의 경사각, 운동시간을 조합하여 부과하였다. <Table 1>은 ACSM[1]의 가이드라인에 제시되어 있는 1단계와 3단계 수준에 대한 트레드밀 조절 방법과 운동시간을 보여주고 있다. 또한, <Table 2>는 1단계와 3단계 수준에서 예측되는 산소섭취량, 분당 에너지 소비량, 총 에너지 소비량을 보여주고 있다. <Table 2>에 요약되어 있는 자료를 보면, 3단계의 작업부하 수준은 분당 에너지 소비량이 7.15(kcal/min) 정도이며, 이는 남성 작업자가 하루 8시간 작업 중 추가적인 휴식 없이 지속할 수 평균 에너지 소비량 5.33(kcal/min)을 초과하는 수준으로 작업수행 과정에서 적절한 추가적 휴식시간이 요구 된다고 예측할 수 있다[3]. 참고로, ACSM[1]의 가이드라인의 최대 작업 수준인 4단계에서 분당 에너지 소비량은 8.63(kcal/min)으로 농작업 현장에서 농업인이 경험하는 작업량으로는 과도하다고 판단되어 본 연구에서는 고려하지 않았다.

<Table 1> Treadmill Setup for Different Workload Levels[1]

	Treadmill speed (m/min)	Treadmill Inclination (%Grade)	Running time (min)
1st Stage (Rest)	-	-	-
3rd Stage (Workload)	133.3	3.0	10.0

<Table 2> Predicted Physiological Measures for Different Workload Levels[1]

	Oxygen uptake (l/min)	Energy expenditure/min (kcal/min)	Total energy expenditure (kcal)
1st Stage (Rest)	0.245	1.225	12.25
3rd Stage (Workload)	1.430	7.150	71.50

또 다른 독립변수인 작업화 유형은 슬리퍼(Slippers), 일반 운동화(Sports Shoes), 안전화(Safety Shoes)의 3개 수준으로 조절하였다. 슬리퍼는 흔히 볼 수 있는 굽이 낮은 고무재질의 소위 삼선슬리퍼, 운동화는 갑피가 가죽이며 겹창은 고무 재질이고 편편한 형태의 테니스화, 안전화는 겹창이 폴리우레탄 재질이고 보호구 안전인증고시에 따라 안전인증을 받은 선심과 보강재로 보호된 단화 형태의 가죽제 발등안전화이다. <Figure 1>은 실험에서 사용한 3가지 유형의 작업화를 보여주고 있다.

종속변수는 앞서 설명한 바와 같이 측정된 COP 위치 좌표를 이용하여 변환한 신체의 전후 방향 동요길이(SL_AP)와 좌우방향 동요길이(SL_ML)이다.



<Figure 1> Type of Shoes Analyzed in the Experiment(From left : Slippers, Sports Shoes, and Safety Shoes)

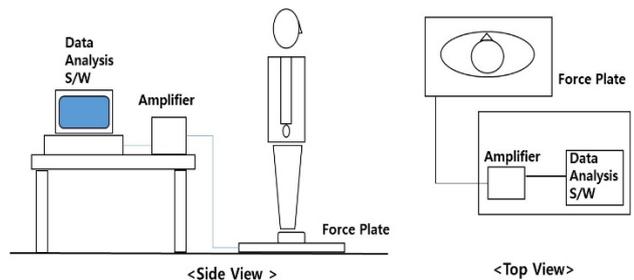
2.5 실험 절차

실험 시작 전 피실험자에게 실험 절차와 잠재적 위험에 대한 간단한 설명을 하였으며, 실험 시작 전과 실험이 진행되는 동안 피실험자의 심박수 변화를 관찰하기 위해 심박수 측정기를 손목에 착용하도록 하였다. ACSM[1]의 가이드라인의 제 3단계 작업부하가 부과되는 실험조건에서는 트레드밀의 바닥면 각도를 3°, 런닝 속도를 133.3m/min로 설정한 상태에서 10분간 운동을 하도록 하였으며,

운동이 완료된 후에는 힘판에서의 COP 측정 직전에 Borg-RPE 주관적 평가 스케일을 이용한 주관적 평가가 신속히 이루어졌다. 트레드밀 운동 중 피실험자가 운동 중단을 요청하거나 예상 최대 심박수의 70%를 초과하는 경우에는 실험자가 실험을 중단하였다.

힘판 위에서 COP 좌표를 측정할 때에는 피실험자에게 양팔을 자연스럽게 늘어뜨린 상태에서 양 발을 어깨너비 정도로 벌리고 양 발의 각도를 30° 전후로 하여 편안히 서 있도록 안내하였으며 실험 중에는 가능한 한 자세균형을 유지하도록 노력하라는 지시를 하였다. 시선의 방향을 일정하게 하기위해 시선 전방 5m, 눈높이 위치에 마킹을 하여 지속적으로 주시하도록 하였다. COP 위치 좌표는 피실험자에게 측정 시작을 알림과 동시에 25초간 측정하였으며, 측정 초기단계에서의 흔들림을 최소화하기 초기 5초간의 자료는 제외하고 이후 20초 간의 자료만을 분석에 이용하였다. <Figure 2>와 <Figure 3>은 힘판 및 주변장치의 배치 상황과 측정 중인 피실험자의 모습을 보여주고 있다.

6개의 실험조합 수준에서 무작위의 순서로 반복 측정하는 과정에서 육체적 작업부하가 부과된 실험을 수행한 후에는 다음에 진행되는 실험 조합수준에 영향을 주지 않도록 피실험자에게 충분한 휴식 시간이 주어졌다. 그러나 상당 수준의 휴식을 취한 후에도 안정적인 휴식기의 심박수 수준에 도달하지 않는 경우에는 계획된 실험 일정을 변경하여 다른 날 실험이 진행되도록 조정하였다.



<Figure 2> Layout of Equipment Setup and Subject Standing on a Force Plate



<Figure 3> The Subject and Experimenter Measuring Center of Pressure(COP)

3. 실험 결과

StatView (SAS Institute Inc., ver 5.0.1) 통계 소프트웨어를 이용하여 동요길이 자료에 대한 분산분석과 분산분석 후의 추/검정을 수행하였으며, 유의 수준은 $\alpha = 0.05$ 를 적용하였다. 분산분석 후 독립변수들의 수준 간 모평균 비교는 Tukey의 HSD(Honestly Significant Difference) 검정 절차에 따라 판단하였다.

Borg의 RPE 자료는 실험계획에서 종속변수로 계획하지는 않았으나 작업부하에 대한 피실험자들의 주관적 평가 수준을 참고하기 위해 수집하였다. 따라서 동요길이에 대한 분산분석에 앞서 실험에서 부과된 작업부하에 대해 피실험자들이 어느 정도 힘들다고 느끼는지 알아보기 위해 수집한 Borg의 RPE 주관적 평가 자료를 분석하였다. 피실험자들은 실험에서 작업부하 수준으로 부과한 ACSM [1] 안내서의 3단계 운동량을 RPE 평균 13.9 ± 1.5 수준으로 힘들다고 답변하였다. RPE 13.9는 RPE 13 수준(“some-what hard”)와 RPE 15수준(“hard”)의 중간 정도로서 피실험자들은 작업부하 수준을 “다소 힘들다” 혹은 “힘들다” 정도로 느낀 것으로 판단된다. 참고로, 작업생리학적인 측면에서 보면 RPE 13.9 수준은 심박수를 약 139(beat/min)에 이르게 하는 작업과 유사한 정도의 작업량이다[4].

함자들은 작업부하 수준을 “다소 힘들다” 혹은 “힘들다” 정도로 느낀 것으로 판단된다. 참고로, 작업생리학적인 측면에서 보면 RPE 13.9 수준은 심박수를 약 139(beat/min)에 이르게 하는 작업과 유사한 정도의 작업량이다[4].

3.1 신체 전후 방향 동요길이 분석

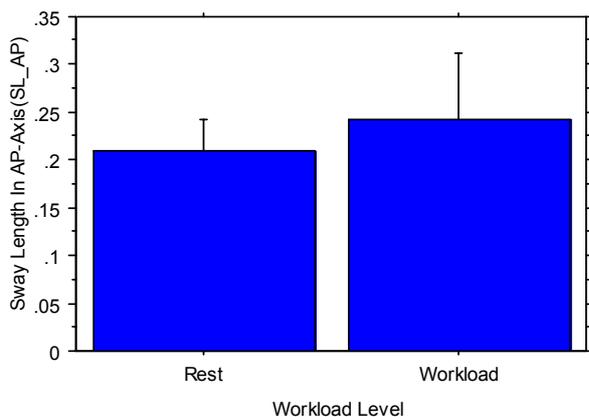
<Table 3>은 피실험자 기준으로 신체 전후 방향(AP-axis)의 동요길이에 대한 분산분석표를 보여주고 있다. 작업부하(Workload) 주효과($F_{1,72}: 0.05 = 7.694, p = 0.0071$)와 작업화 유형(Shoes Type) 주효과($F_{2,72}: 0.05 = 6.105, p < 0.0036$)는 각기 5% 유의수준에서 유의한 것으로 나타나 2개의 독립변수 모두 각 수준에 따라 동요길이 평균값에 차이가 있음을 알 수 있다.

<Figure 4>와 <Table 4>는 작업부하 유무에 따른 신체 전후 방향의 동요길이 변화를 비교하여 보여주고 있다. 휴식 수준에비교하여 육체적 작업부하가 있는 경우 동요 길이가 유의하게 증가됨을 파악할 수 있다.

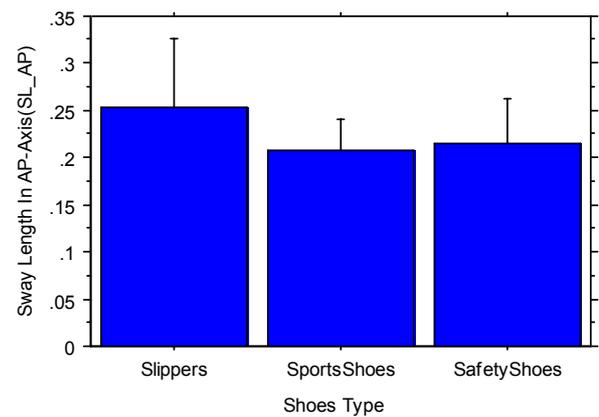
<Table 3> Two-Way ANOVA Results for the Postural Sway Length in Anterior-Posterior(AP) Axis

ANOVA Table for Sway Length_{AP}

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value	Lambda	Power
Workload	1	.020	.020	7.694	.0071	7.694	.793
Shoes Type	2	.032	.016	6.105	.0036	12.210	.887
Workload*Shoes Type	2	.005	.002	.899	.4117	1.797	.193
Residual	72	.188	.003				



<Figure 4> Comparisons of Mean Sway Length in Anterior-Posterior(AP) Axis at Different Levels of Workload (Error bar indicates 1 standard deviation); Unit : m



<Figure 5> Comparisons of Mean Sway Length in Anterior-Posterior(AP) Axis at Different Levels of Shoes (Error bar indicates 1 standard deviation); Unit : m

<Table 4> Means Table for Sway Length_{AP}(Effect : Workload_Level)

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
Rest	39	.210	.033	.005
Workload	39	.242	.069	.011

<Table 5> Means Table for Sway Length_{AP}(Effect : Shoes_Type)

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
Slippers	26	.254	.072	.014
Sports Shoes	26	.208	.031	.006
Safety Shoes	26	.215	.048	.009

작업화 유형 3수준에 따른 신체 전후방향의 평균 동요 길이 차이가 <Figure 5>와 <Table 5>에 비교되어 나타나 있다. Tukey HSD를 이용하여 작업화 유형 각 수준에 대해 수행한 수준간 평균비교 결과를 보면(<Table 6> 참조), 슬리퍼(Slippers)-운동화(Sports Shoes), 슬리퍼-안전화(Safety Shoes)는 수준간에 평균 전후방향 동요길이 차이가 유의한 것으로 분석되었다($p < 0.05$). 반면에 운동화-안전화 간에는 유의한 차이가 없었다. 슬리퍼를 신은 경우 전후방향 동요가 가장 크게 나타났으며 운동화, 안전화에 비교하여 유의한 차이를 보였다. 안전화(동요길이 0.215m)의 경우 운동화(동요길이 0.208m)에 비교하여 미세하게 동요길이의 증가가 관측되나 그 차이가 유의하지는 않았다. 안전화는 선심과 보강재로 보호되어(전체적으로 아주 단단함) 안전성은 높으나 착용감은 운동화에 비해 상대적으로 저하되어 자세의 흔들림(Postural Sway)도 늘어날 것으로 예상했으나 결과적으로 차이가 없어 발을 보호한다는 장점 외에 자세균형 유지 수준도 양호한 것으로 판단된다.

<Table 3>의 분산분석표에 나타난 수치검정 결과와 같이 작업부하×작업화유형 사이의 2인자 교호작용 효과는 유의하지 않은 것으로 분석되었다($F_{2,72;0.05} = 0.899, p = 0.4117$). 결과적으로 교호작용은 없는 것으로 판단되나, 두 독립변수 간의 영향을 알아보기 위해 선형 교호작용도를 분석하였다. <Figure 4>는 독립변수 작업부하와 작업화 유형 두인자 간의 선형 교호작용도를 그린 것이다. 그림을 보면 선들이 서로 겹치거나 크게 교차되는 모습을 보이지 않으므로 두 독립변수 사이의 교호작용이 없다고 판단되며, 분산분석표에서의 수치검정 결과와 일치된다.

결과적으로 두 개의 독립변수인 작업부하와 작업화 유형은 독립적이며 서로 영향을 미치지 않는 것으로 판단되어 앞서 분석한 주효과 검정 결과를 신뢰할 수 있다. 다만 <Figure 6>에서 운동화는 안전화에 비교하여 작업부하(Workload)가 부과된 조건에서 동요길이의 증가율이 높게 나타나 근소한 차이지만 오히려 안전화보다 동요길이가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

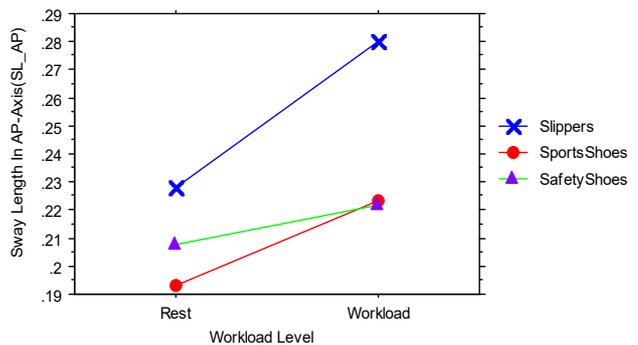
3.2 신체 좌우 방향 동요길이 분석

피실험자를 기준으로 신체 좌우 방향의 동요길이에 대해 주효과 검정 및 교호작용의 효과 검정을 실행한 결과가

<Table 6> Tukey’s HSD Multiple Comparisons for Effect of Shoes Type in Medio-Lateral(ML) Axis(Significant mean difference was denoted by “S”)

Tukey/Kramer for SwayLength_AP
Effect: ShoesType
Significance Level: 5%

	Mean Diff.	Crit. Diff.	
Slippers, Sports Shoes	.046	.034	S
Slippers, Safety Shoes	.039	.034	S
Sports Shoes, Safety Shoes	-.006	.034	



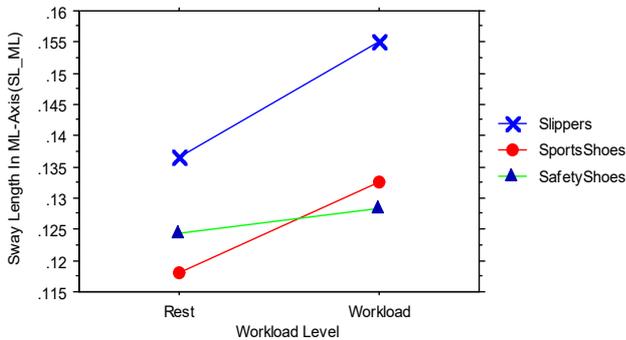
<Figure 6> Two-Way Interaction Line Plot for Sway Length in AP Axis(Effect : Workload *Shoes Type)

<Table 7>의 분산분석표로 정리되어 있다. 작업부하(Workload) 주효과($F_{1,72; 0.05} = 2.008, p = 0.1608$)와 작업화 유형(Shoes Type) 주효과($F_{2,72; 0.05} = 2.321, p = 0.1055$)는 각각 유의수준 5%에서 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 결과적으로 육체적 작업부하 유무, 작업화의 유형 각 수준에서 신체 좌우 방향의 동요길이는 유의한 차이가 없음을 나타낸다. 이러한 결과로 나타난 요인은 보다 자세한 분석이 필요하겠지만, COP 측정 중 피실험자가 취한 양 발의 간격을 주요한 요인의 하나로 볼 수 있다. COP를 측정할 때 피실험자는 양 발을 어깨너비 정도로 벌린 상태에서 편안한 발 간격을 유지하였다. Melzer et al.[10]은 좁은 발 간격(Narrow Stance)에 비교하여 편안한 발 간격(Comfortable Stance)을 취할 때 신체 좌우 방향의 자세 변화가 유의하지 않다는 연구결과를 발표하였다. 양 발의 간격을 편안하게 벌려 유지한 자세에서 신체 좌우 흔들림이 낮아지며, 결과적으로 신체 좌우 방향의 동요길이 변화를 제약한 것으로 판단된다[10].

<Table 7> Two-Way ANOVA Results for the Sway Length in Medio-Lateral (ML) Axis

ANOVA Table for Sway Length_ML

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value	Lambda	Power
Workload	1	.003	.003	2.008	.1608	2.008	.272
Shoes Type	2	.007	.003	2.321	.1055	4.642	.444
Workload*Shoes Type	2	.001	3.683E-4	.246	.7823	.493	.087
Residual	72	.108	.001				



<Figure 7> Two-Way Interaction Line Plot for Sway Length in ML Axis(Effect : Workload*ShoesType)

두 독립변수간의 작업부하×작업화유형 2인자 교호작용 효과 또한 유의하지 않은 것으로 분석되었다($F_{2,72;0.05} = 0.246, p = 0.7823$). <Figure 7>은 작업부하×작업화유형 2인자 선형 교호작용도 보여주고 있다. 교호작용 효과에 대한 수치검정 결과와는 다르게 다소간의 교호작용이 보인다. 앞의 분산분석 결과에서 각 수준간의 유의한 차이는 없지만, 슬리퍼가 동요길이가 가장 길게 나타남을 볼 수 있다. 안전화는 작업부하 부과 유무에 따른 동요길이 변화율이 상대적으로 낮고 작업부하가 있는 상황에서 동요길이가 가장 낮은 것으로 판단된다.

4. 결론 및 토의

육체적 작업부하와 작업화 유형에 따라 변화된 조건에서 신체자세 균형을 유지하려는 능력을 평가하였다. 자세균형 능력은 신체 전후 방향의 동요길이와 좌우 방향의 동요길이를 구분하여 분석하였다.

분산분석과 분산분석 후 검정을 통하여 육체적 작업부하는 서있는 자세 기준으로 신체 전후 방향으로의 정적인 자세제어 능력을 유의하게 저하시킴을 알 수 있었다. 실험에서 트레드밀을 이용하여 운동량에 따라 부과된 작업부하는 생리학적인 객관적 지표로서 실제로 피실험자가 주관적으로 경험한 작업부하 수준을 이해하는 데는 한계가 있다. 따라서 주관적 평가 기법인 RPE 스케일을 사용하여 피실험자들이 정해진 작업부하를 경험한 직후 주관적으로 느끼는 피로 수준을 분석하였다. 피실험자들은 실험에서 부과된 작업부하를 RPE 스케일 평균 13.9 수준으로 평가하여 “다소 힘든 정도”에서 “힘든 정도”로 느낀 것으로 분석되었다. 일반적으로 RPE 스케일 13.9 수준은 운동 또는 작업생리학적인 심박수 약 139 (beat/min)와 유사한 수준으로 판단되며 최대 심박수의 75% 정도에 해당하는 수준이다. 일반적으로 작업자들이 추가적인 휴식 없이 지속적으로 수행할 수 있는 작업부하는 생리학적인 최

대 에너지 소비량의 1/3(약 33%) 수준으로 볼 수 있으므로[3], 심박수를 139(beat/min) 정도에 이르게 하는 작업부하는 상당 수준의 휴식을 필요로 하는 작업량이다. 노지 또는 시설하우스와 같은 취약한 작업환경에서 수행되는 농작업은 이와 같은 작업 상황과 유사하다.

본 연구의 주요 목적은 작업부하의 영향뿐만 아니라 작업화의 유형이 자세 균형 능력에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 슬리퍼를 신은 상태에서 신체 전후 방향의 동요 길이는 운동화 또는 안전화를 신은 상태에 비교하여 유의한 수준으로 증가함으로써 자세균형 능력이 현저히 저하됨을 알 수 있었다. 또한 이러한 차이는 교호작용도에서 확인할 수 있듯이 작업부하가 부과되면 그 차이가 더욱 증가되었다. 운동화와 안전화 사이에는 신체 전후 방향의 동요 길이에 유의한 차이가 발견되지 않았다. 일반적으로 안전화는 선심과 보강재로 보호되어(전체적으로 아주 단단함) 안전성은 높으나 착용감은 운동화에 비해 떨어져 자세의 흔들림(Postural Sway)도 늘어날 것으로 예상했으나 결과적으로 차이가 없게 나타나 발을 보호한다는 장점 외에 자세균형 유지 수준도 양호한 것으로 판단된다.

신체 전후 방향 동요길이를 분석 결과와 다르게 작업부하와 작업화 유형은 유의수준 5%에서 신체 좌우 방향의 동요길이에 유의한 영향을 주지 않았다. 이러한 결과는 양발의 간격을 충분히 벌려 편안하게 유지한 자세에서 신체 좌우의 동요가 낮게 나타난 Melzer et al.[10]의 연구 결과와 유사하다. 통계적으로 유의하지는 않으나 <Table 6> 분산분석표에 나타난 작업부하의 주효과($p = 0.1608$)와 작업화 유형의 주효과($p = 0.1055$) 분석 결과와 <Figure 6>의 교호작용도에서 볼 수 있듯이 운동화 및 안전화에 비해 슬리퍼의 동요길이가 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있다.

이상의 분석결과 의미를 요약하면 다음과 같다. 농작업 현장에서 빈번히 관찰되는 슬리퍼를 신고 작업하는 작업자는 자신의 신체균형 능력이 유의하게 저하됨을 인식하여야 한다. 이러한 균형능력 저하는 신체를 중심으로 앞뒤 방향으로의 균형 유지에 더욱 민감하다. 또한 작업부하가 누적되면 균형 능력의 저하는 심화된다. 상대적으로 신체 좌우 방향으로의 균형능력은 작업부하와 작업화 유형에 따라 통계적으로 유의하지는 않으나 평균적으로 슬리퍼를 신는 것보다 운동화나 안전화를 신는 것이 균형을 유지하는데 도움이 된다. 전반적으로 일반 운동화와 안전화는 슬리퍼에 비해 균형을 유지하는데 유리한 장점을 갖고 있다. 운동화 또는 안전화를 선택할 때, 서로 균형능력에 유의한 차이가 없으나 발등을 보호해주는 안전화의 여러 기능을 고려하면 운동화에 비해 안전화를 신고 작업하는 것이 권장된다. 안전화는 예상하지 못한 물체의 낙하, 충격, 찰림 위험으로부터 발과 발등을 보호하는 여러 기능이 있기 때문이다.

서론에서 언급한 바와 같이 농업인의 발생형태별 업무상 손상은 넘어짐과 떨어짐이 가장 빈번하다. 또한 농업인의 10% 이상이 농작업 수행 중에 최소 1회 이상 넘어짐 사고를 경험한 것으로 보고되고 있다. 이러한 상황에서 58% 이상의 농업인은 넘어짐이나 떨어짐 사고에 대한 예방 조치를 못한 상태로 농작업을 수행하고 있다. 개인적 특성으로 볼 수 있는 자세균형 능력의 저하는 넘어짐 또는 떨어짐 재해를 유발하는 주요 원인의 하나이다. 또한 농작업은 육체적 부담이 과도하며 농지 바닥면이 경사지이거나 진흙으로 젖어 있거나 얼어 있는 경우처럼 작업환경 또한 자세균형을 유지하는데 불리하다. 추가적으로 슬리퍼, 고무신, 일반 운동화 등 부적절한 작업화 착용에 따른 인적/관리적 원인에 의해 넘어짐 또는 떨어짐 사고위험이 증대될 수 있음을 인지해야 한다. 이러한 관점에서 농작업 안전관리자와 인간공학 전문가들은 미끄러짐에 취약한 농작업 환경 개선과 더불어 산업용이 아닌 농작업에 적합한 농작업 전용 안전화 개발에도 노력을 기울여야 한다.

본 연구는 결과의 해석에서 많은 한계가 있다. 실험에서 적용한 작업화 유형(슬리퍼, 운동화, 안전화)이 농업인이 착용하는 작업화를 대표하기에는 객관적인 통계 자료가 미흡하다고 판단된다. 걸창이 마모되어 마찰력이 줄어든 운동화, 슬리퍼 등을 신은 상태에서 작업 중 넘어짐 재해가 발생한 사고 사례가 다수 보고되고 있음에도 불구하고[15], 농업인의 작업화 착용 현황에 대한 공식적인 통계자료에 기반을 두고 있지 못하기 때문이다. 20대 대학생으로 구성된 피실험자가 농업인의 자세균형능력을 이해하는데 한계가 있음도 지적한다.

또한 본 연구는 신체가 건강한 20대 남성 대학생만을 대상으로 실시한 실험 결과로서 실제 농업인의 자세균형능력을 이해하는데 한계를 갖고 있다. 향후 실제 농작업에 종사하는 여성 및 남성 농업인, 고령을 포함한 연령대별 농업인, 작업 중 넘어짐이나 떨어짐을 경험한 집단과 그렇지 않은 집단 등 다양한 연구 집단에 대해 연구를 수행할 필요가 있다고 판단된다. 또한 신발 유형에 따른 자세균형 능력 분석에서 신발의 걸창, 소돌기, 뒷굽의 형태 및 높이 등 신발 자체의 설계 특성 및 개인차를 포함한 인적 특성이 주요한 변수가 될 수 있으나 본 연구에서는 고려하지 못하였다. 전체적으로 본 연구는 농업인의 다수가 착용하는 것으로 판단되는 작업화가 자세균형에 미치는 영향을 분석하기 위한 기초연구의 수준이다. 향후 앞서 언급한 다양한 특성들을 포함한 추가적인 연구를 기대한다.

References

- [1] American College of Sports and Medicine, Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 6th ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2000.
- [2] Aoki, H., Demura, S., Kawabata, H., Sugiura, H., Uchida, Y., Xu, N., and Murase, H., Evaluating the effects of open/closed eyes and age-related differences on center of foot pressure sway during stepping at a set tempo, *Advances in Aging Research*, 2012, Vol. 1, No. 3, pp 72-77.
- [3] Bink, B., The physical work capacity in relation to working time and age, *Ergonomics*, 1962, Vol. 5, No. 1, pp 25-25.
- [4] Borg, G. and Linderholm, H., perceived exertion and pulse rate during graded exercise in various age groups, *Acta Medica Scandinavica, Suppl.*, 1967, Vol. 472, pp. 194-206.
- [5] DeBusk, H., Hill, C.M., Chander, H., Knight, A.C., and Babski-Reeves, K., Influence of military workload and footwear on static and dynamic balance performance, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2018, Vol. 64, pp. 51-58.
- [6] Demura, S., Kitabayashi, T., Kimura, A., and Matsuzawa, J., Body sway characteristics during static upright posture in healthy and disordered elderly, *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 2005, Vol. 24, pp. 551-555.
- [7] Franz, J.R. and Kram, R., The effects of grade and speed on leg muscle activations during walking, *Gait Posture*, 2012, Vol. 35, No. 1, pp. 143-147.
- [8] Garner, J.C., Wade, C., Garten, R., Chander, H., and Acevedo, E., The influence of firefighter boot type on balance, *Int. J. Industrial Ergonomics*, 2013, Vol. 43, No. 1, pp. 77-81.
- [9] Maurer, C., Mergner, T., Bolha, B., and Hlavacka, F., Vestibular, visual, and somatosensory contributions to human control of upright Stance, *Neurosci. Lett.*, 2000, Vol. 281, No. 2, pp. 99-102.
- [10] Melzer, L., Kurz, I., and Oddsson, L.I.E., A Retrospective analysis balance control parameters in elderly fallers and non-fallers, *Clin. Biomech.*, 2010, Vol. 25, No. 10, pp. 984-988.
- [11] Ministry of Employment and Labor, 2017, <http://www.moel.go.kr/index.do>.
- [12] Park, J. and Park, S., Effects of material position on postural stability during manual material handling tasks, *Journal of Ergonomics Society of Korea*, 2004, Vol. 23, No. 4, pp. 1-8.

[1] American College of Sports and Medicine, Guidelines

- [13] Park, S. and Lee, S., Ability to maintain postural control while standing on perturbed surfaces, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2008, Vol. 31, No. 4, pp. 146-152.
- [14] Park, S., Effect of whole body fatigue and limited visual field on postural stability, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2016, Vol. 39, No. 3, pp. 39-46.
- [15] Rural Development Administration, National Institute of Agricultural Science, *Types of Slip-and-Fall Accident and Prevention*, 2016, pp. 18-37.
- [16] Simeonov, P., Hsiao, H., Powers, J., Ammons, D., Amendola, A., Kau, T.Y., and Cantis, D., Footwear effects on walking balance at elevation, *Ergonomics*, 2008, Vol. 51, No. 12, pp. 1885-1905.
- [17] Statistics Korea, KOSIS, 2020, http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=143&tblId=DT_14303_E1427&conn_path=I2.

ORCIDSung Ha Park | <http://orcid.org/0000-0002-9983-9951>