JESK J Ergon Soc Korea 2026; 45(2): 111-119
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2026.45.2.111
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Analysis of the Effect of Worktable Height on the Postural Stability of Standing Precision Workers in Semiconductor Fabs

Kyung Jun Kang[1], Su In Park[2], Jae Hee Park[2]

[1]Department of Chemistry, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon, 34141
[2]Department of Social Safety Systems Engineering, Hankyong National University, Anseong, 17579

반도체 FAB 내 입식 정밀 작업자의 작업대 높이가 자세 안정성에 미치는 영향 분석

강경준[1], 박수인[2], 박재희[2]

[1]한국과학기술원 화학과
[2]한경국립대학교 사회안전시스템공학부

Corresponding Author
Jae Hee Park
Department of Social Safety Systems Engineering, Hankyong National University, Anseong, 17579
Email : maro@hknu.ac.kr

Received : February 08, 2026
Revised : March 08, 2026
Accepted : March 11, 2026

Copyright@2026 by The Human Factors & Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: Although the semiconductor industry requires high-precision Preventive Maintenance (PM) for equipment stability, many field technicians still perform standing tasks at standard office-height tables (750mm) due to spatial constraints or lack of ergonomic guidelines. This study aims to quantitatively analyze the effect of worktable height on the postural stability of workers during precision tasks and to verify the ergonomic risk of the currently prevalent 750mm worktables.

Background: Previous studies on standing work have primarily focused on electromyography (EMG) or general assembly tasks. However, for semiconductor PM tasks requiring micro-manipulation in a cleanroom environment, minimizing body sway is critical for both work quality and musculoskeletal safety. There is a lack of research defining the optimal height specifically for these precision tasks compared to the standard low tables.

Method: Thirty male field technicians (average height: 175.4cm) participated in the experiment. The task involved a simulated precision wiping operation using a force plate to measure the Center of Pressure (COP). The independent variable was the worktable height at three levels: 750mm (current field standard), 1,000mm, and 1,100mm. One-way ANOVA was conducted to analyze the differences in COP area and velocity among the conditions.

Results: The analysis revealed significant differences in postural stability according to worktable height ($p < 0.01$). The 750mm condition showed the highest COP displacement and velocity, indicating significant postural instability due to excessive trunk flexion. In contrast, the 1,000mm and 1,100mm conditions showed significantly reduced body sway compared to the 750mm condition. Specifically, the 1,000mm or 1,100mm condition demonstrated the lowest COP velocity, suggesting it provided the most stable posture for precision operations.

Conclusion: The results empirically prove that the 750mm worktables widely used in the field impose excessive postural demand and instability on workers during standing precision tasks. To ensure both work safety and task precision, it is

recommended to adjust the worktable height to at least 1,000~1,100mm (slightly above elbow height) rather than the standard office worktable height.

Application: These findings can be used as a practical ergonomic guideline for designing maintenance workstations in semiconductor fabs to prevent musculoskeletal disorders and improve maintenance quality.

Keywords: Preventive Maintenance (PM), Precision work, Worktable height, Center of Pressure (COP), Postural stability

1. Introduction

1.1 Background

반도체 산업은 지속적인 기술 고도화와 함께 FAB (Fabrication facility)의 무인화 및 자동화를 핵심 전략으로 추진해 왔다. 이러한 흐름 속에서 FAB의 설계는 필연적으로 설비(equipment)와 자동화 시스템(AMHS, FOUP 등)의 효율적 배치를 최우선으로 고려하게 되었으며, 작업자가 수행하는 수동 작업 공간에 대한 인간공학적 배려는 상대적으로 후순위에 놓여 왔다. 문제는 완전 자동화(fully automated FAB)로의 전환이 당초 기대보다 훨씬 더 긴 과도기를 거치고 있다는 점이다. 반도체 장비의 설비 유지보수(Preventive Maintenance, PM) 작업은 여전히 숙련 기술자의 수작업에 의존하고 있으며, 이러한 과도기가 19년 이상 지속되어 왔다(Lin and Chan, 2007). 그 결과, 자동화를 전제로 설계된 FAB 내에서 작업자들은 인간공학적 고려 없이 배치된 부적절한 작업 환경, 예컨대 일반 사무용 책상 높이(약 750mm)의 작업대에서 장기간 정밀 작업을 수행하는 상황에 방치되어 왔다(Adams and Keyserling, 1995).

이러한 부적절한 작업대 높이는 작업자가 정밀 작업을 위한 시야를 확보하기 위해 상체를 과도하게 굽히게 만들며(trunk flexion), 이는 작업 자세의 불안정성을 유발한다(Choi and Park, 2023; Shirouchi et al., 2022). 선행 연구들에 따르면, 불안정한 자세에서의 작업은 신체 압력 중심(Center of Pressure, 이하 COP)의 변동성을 증가시키며(Asundi et al., 2005), 이러한 COP의 변화는 작업 중 신체 밸런스와 안정성을 평가하는 핵심 지표로 활용되어 왔다. 특히 정밀도가 생명인 반도체 PM 작업에서 이러한 환경은 근골격계질환(Musculoskeletal Disorders)뿐만 아니라, 신체 흔들림으로 인한 작업 오류(human error) 증가를 통해 수율(yield)에도 악영향을 미칠 수 있으므로 실증적 연구가 시급한 실정이다.

그러나 기존의 COP 및 밸런스 관련 연구들은 주로 뇌졸중 환자의 재활 훈련 효과를 검증하거나(Seo and Kim, 2000; Yang and Lee, 2024), 중량물 취급 시의 하중 분석(Ministry of Land, 2020; Choi and Park, 2023)에 집중되어 있다. 자동화 중심으로 설계된 반도체 FAB 환경에서, 매뉴얼 PM 작업자의 작업대 높이가 미세한 신체 동요에 미치는 영향을 정량적으로 분석한 연구는 매우 부족한 실정이다. Grandjean (1988)은 정밀 작업 시 팔꿈치 높이보다 높게 작업대를 설정할 것을 권장하나, 이는 일반 제조 환경을 가정한 것으로 특수 장비(방진복 등)를 착용하고 클린룸(cleanroom)이라는 제한된 환경에서 수행되는 반도체 PM 작업에 그대로 적용하기에는 한계가 있다(Grandjean, 1988).

1.2 Objective

이에 본 연구는 반도체 설비 PM 작업을 수행하는 숙련된 작업자들을 대상으로, 작업대 높이 변화가 신체 안정성에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 한다. 특히 본 연구에서는 인간공학적 권장 높이뿐만 아니라, 현장에서 문제시되고 있는 '750mm 높이'를 대조군(control condition)으로 설정하여 그 위험성을 실증적으로 검증하고자 한다.

구체적인 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 현장에서 관행적으로 사용되는 750mm 작업대와 인간공학적 권장 높이(1,000mm 또는 1,100mm) 간의 신체 중심 동요의 차이를 규명한다. 둘째, 반도체 정밀 PM 작업 시 작업자의 신체 흔들림을 최소화하고 안정성을 극대화할 수 있는 최적의 작업대 높이 가이드라인을 제시한다. 이를 통해 향후 반도체 협력사들의 작업 환경 개선을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. Method

2.1 Subject

본 연구는 반도체 설비 유지보수(PM) 업무에 대한 이해도가 높은 숙련된 남성 작업자 30명을 연구 대상으로 선정하였다. 대상자의 평균 연령은 26.4(±2.1)세, 평균 신장은 174.4(±3.5)cm, 평균 체중은 75.2(±5.8)kg이었다(Table 1). 이는 국가기술표준원의 Size Korea 제8차 인체치수조사에서 제시한 대한민국 20대 남성 평균 신체 치수(신장 174.4cm, 체중 76.0kg)에 부합하는 수치로, 피험자 집단의 대표성을 확보하였다(KATS, 2021).

Table 1. General characteristics of the subjects

Variable	Mean	SD*	Range (Min-Max)
Age (years)	26.4	2.1	24~29
Height (cm)	174.4	3.5	169~179
Weight (kg)	75.2	5.8	65~82
Elbow height (cm)	107.5	2.9	104~111

*SD: Standard Deviation

특히 본 연구에서는 입식 작업대 높이 선정의 핵심 기준이 되는 피험자들의 입식 팔꿈치 높이(standing elbow height)를 산출하였다. 실측 결과 및 Size Korea 데이터에 근거한 20대 남성의 평균 팔꿈치 높이는 107.5cm(신장의 약 61.6%)로 나타났다(KATS, 2021; Pheasant and Haslegrave, 2006). 이는 본 연구에서 설정한 1,100mm 작업대 조건이 작업자의 팔꿈치 높이보다 약 2.5cm 높은 위치임을 의미하며, 이는 정밀 작업 시 팔꿈치 높이와 같거나 높게 설정해야 한다는 인간공학적 설계 원칙에 부합하는 조건이다(Grandjean, 1988).

실험 전 모든 대상자는 근골격계 질환 병력이 없음을 확인하였으며, 연구의 목적과 절차에 대해 충분한 설명을 듣고 동의한 후 실험에 참여하였다.

2.2 Experimental equipment and conditions

2.2.1 Independent variable: Worktable height

작업대 높이는 반도체 FAB 현장의 실태와 인간공학적 기준을 반영하여 총 3가지 조건(750mm, 1,000mm, 1,100mm)으로 설정하였다. 측정에 사용된 지면 반력기(PhysioSensing Solution VIII BASIC)의 플랫폼 두께는 약 23mm로, 피험자가 플랫폼 위에 선 상태에서의 실제 체감 높이가 각각 750mm, 1,000mm, 1,100mm가 되도록 작업대 높이를 해당 두께만큼 보정하여 설정하였다.

1. 750mm (condition A): 현재 반도체 협력사들이 전용하여 사용중인 일반 사무용 테이블의 높이이다.
2. 1,000mm (condition B): 한국 남성 평균 신장을 고려한 일반적인 입식 작업대 높이이다.
3. 1,100mm (condition C): 선행 연구에서 정밀 작업 시 권장하는 '팔꿈치 높이보다 높은' 조건(+2.5cm)을 반영한 인간공학적 개선안이다.

2.2.2 Dependent variable

작업 자세의 안정성을 정량적으로 평가하기 위해 지면 반력기(Force Plate, PhysioSensing Solution VIII BASIC)를 사용하여 신체 압력중심(Center of Pressure, COP) 데이터를 100Hz의 샘플링 속도(sampling rate)로 정밀 수집하였다(Figure 1). 본 연구에서는 수집된 COP

좌표(x, y)를 기반으로 작업자의 자세 불안정성을 나타내는 2가지 핵심 지표를 산출하여 분석하였다.

1. COP 95% 신뢰타원면적(COP 95% ellipse area, mm^2): 측정 시간 동안 COP가 이동한 궤적 중 95%를 포함하는 타원의 면적으로, 신체가 전후좌우로 흔들린 전체적인 범위(Spatial range)를 의미한다. 면적이 좁을수록 작업자가 불필요한 움직임 없이 안정적인 자세를 유지했음을 나타낸다.
2. COP 평균 속도(mean velocity, mm/s): 단위 시간당 COP가 이동한 총 거리(total excursion)를 측정 시간으로 나눈 값으로, 자세 제어를 위한 신체 반응의 빠르기를 의미한다. 값이 클수록 자세 균형을 유지하기 위해 하지가 급격하게 움직였음을 시사하며, 이는 신체 피로도와 불안정성이 높다는 것을 의미한다. 선행 연구에 따르면, COP 평균 속도와 이동 거리가 클수록 자세 동요를 통제하기 위한 근육의 미세 교정 반응(postural corrective response) 빈도가 증가하여 신경근 피로도가 높아지고 자세 안정성이 저하되는 것은 생체역학적으로 입증된 바 있다(Ruhe et al., 2011; Duarte and Zatsiorsky, 1999).

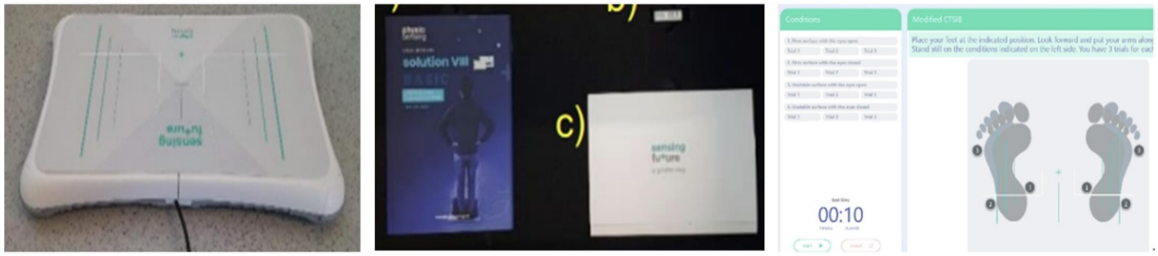

Figure 1. PhysioSensing solution VIII BASIC force plate

2.3 Experimental procedure

실험 환경은 실제 반도체 FAB 내 정밀 작업대와 유사하게 구성하였으며, 작업 대상물은 노트북 터치패드(약 10cm x 6cm) 크기의 영역을 지정하여, 반도체 부품을 초정밀 세정하는 동작을 모사하도록 하였다. 작업 시 피험자의 팔꿈치 및 전완의 작업대 지지(forearm resting) 여부에 대해서는 별도의 제약을 두지 않았으며, 실제 현장 PM 작업 시의 자연스러운 자세(naturalistic posture)를 모사하도록 하여 생태학적 타당성(ecological validity)을 확보하였다(Figure 2).

각 피험자는 3가지 높이 조건에서 무작위 순서(randomized order)로 작업을 수행하여 학습 효과(learning effect)를 배제하였다. 각 조건당 측정 시간은 30초로 설정하였으며, 조건 변경 시마다 2분의 휴식 시간을 부여하여 근육 피로 누적을 방지하였다.

Figure 2. COP measurement using model PhysioSensing solution VIII BASIC

2.4 Statistical analysis

수집된 모든 데이터는 SPSS (Ver 26.0) 통계 패키지를 사용하여 분석하였다. 작업대 높이(750mm, 1,000mm, 1,100mm)가 신체 중심 동요(COP Area, Velocity 등)에 미치는 영향을 검증하기 위해 일원배치분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였다. 통계적으로 유의한 차이가 발견된 경우, 집단 간 구체적인 차이를 규명하기 위해 Duncan의 다중 범위 검정(Duncan's multiple range test)을 이용하여 사후 분석(post-hoc)을 수행하였다. 모든 통계적 유의수준(α)은 0.05로 설정하였다.

3. Results

3.1 COP 95% ellipse area analysis by worktable height

반도체 정밀 PM 작업 시 작업대 높이(750mm, 1,000mm, 1,100mm)에 따른 신체 중심 동요 면적(COP Area)을 분석한 결과는 Table 2 & Figure 3과 같다.

일원배치분산분석(One-way ANOVA) 결과, 작업대 높이에 따라 COP 면적에 통계적으로 유의한 차이가 확인되었다(F=14.23, p<0.01).

Duncan 사후 검정(post-hoc) 분석 결과, 현장 관행 높이인 750mm 조건(1,160.3±693.6mm^2)에서 가장 넓은 동요 면적이 발생하여 신체 안정성이 가장 낮은 것으로 나타났다. 반면, 작업자의 팔꿈치 높이를 고려한 1,100mm 조건(672.1±394.4mm^2)은 750mm 조건 대비 COP 면적이 약 42% 감소하여 가장 안정적인 수치를 보였다. 1,000mm 조건(1,071.4±914.3mm^2)은 750mm보다 다소 감소하였으나

Table 2. Comparison of COP area by worktable height

Variable	Height (mm)	Mean (mm^2)	SD	F-value	p-value	Duncan
COP area	750	1,160.3	693.6	14.23	0.005*	a
	1,000	1,071.4	914.3			a
	1,100	672.1	394.4			b

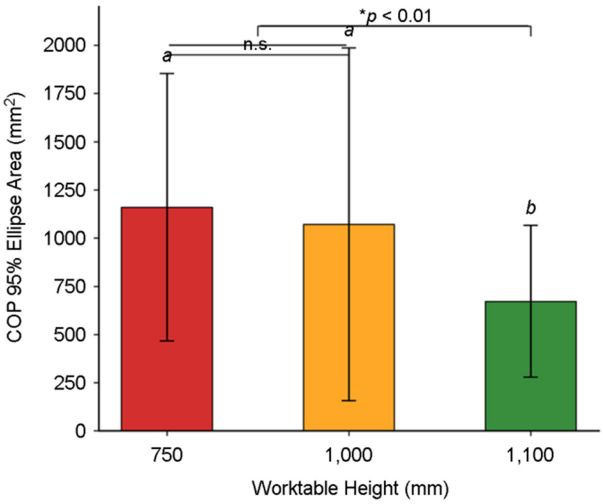

Figure 3. Comparison of COP 95% ellipse area by worktable height (Error bars indicate ±1 SD; different letters denote significant differences by Duncan's test, p < 0.01)

통계적으로 유의한 수준의 차이는 보이지 않았다. 750mm의 낮은 작업대가 작업자의 과도한 허리 굽힘을 유발하고, 이는 전후좌우의 신체 흔들림 폭을 크게 증폭시킨다는 것을 의미한다.

3.2 COP velocity by worktable height

작업 자세의 미세한 떨림과 불안정성을 나타내는 신체 동요 속도(COP velocity)에 대한 분석 결과는 Table 3 & Figure 4와 같다.

분산분석 결과, 작업대 높이는 COP 속도에도 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다(F=9.87, p<0.01).

사후 분석 결과, 750mm 조건(37.4±19.5mm/s)에서 동요 속도가 가장 빠르게 나타나 신체가 지속적으로 불안정하게 흔들리고 있음을 확인하였다. 반면, 1,100mm 조건(28.8±12.9mm/s)에서는 동요 속도가 현저히 감소하여, 정밀 작업에 요구되는 고도의 신체 고정력(steadiness)을 유지하는 데 가장 효과적인 것으로 나타났다.

특히 1,000mm 조건과 비교했을 때도 1,100mm 조건의 평균 속도가 더 낮게 측정되었는데, 이는 본 연구의 피험자(평균 신장 174.4cm)의 팔꿈치 높이(약 107.5cm)보다 약간 높은 1,100mm 높이가 상체 지지를 돕고 불필요한 근육 긴장을 완화시켜 미세 떨림을 억제했기 때문으로 해석된다(KATS, 2021).

Table 3. Comparison of COP velocity by worktable height

Variable	Height (mm)	Mean (mm/s)	SD	F-value	p-value	Duncan
Velocity	750	37.4	19.5	9.87	0.008*	a
	1,000	35.7	29.9			a
	1,100	28.8	12.9			b

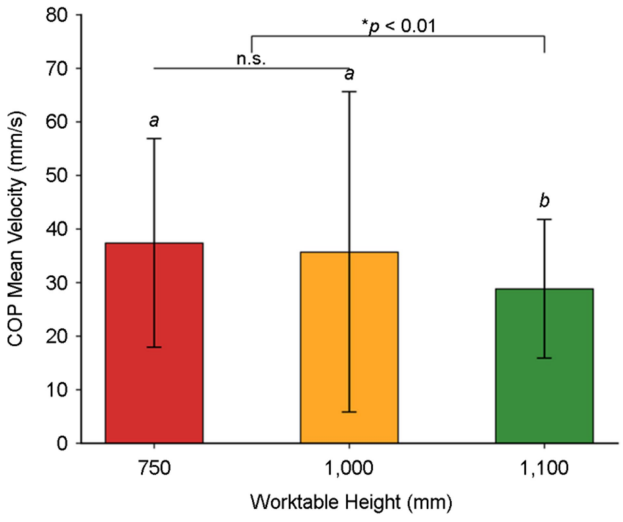

Figure 4. Comparison of COP mean velocity by worktable height (Error bars indicate ±1 SD; different letters denote significant differences by Duncan's test, p < 0.01)

4. Discussion

본 연구는 반도체 설비 유지보수(PM) 작업 시 작업대 높이가 작업자의 신체 안정성(COP)에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 실험 결과, 현장에서 관행적으로 사용되는 750mm 높이와 인간공학적으로 개선된 1,100mm 높이 간에는 신체 중심 동요(COP Area)와 흔들림 속도(Velocity)에서 통계적으로 유의한 차이가 확인되었다.

4.1 Physical instability of the 750mm worktable

분석 결과, 750mm 작업대에서 COP 면적과 속도가 가장 높게 나타났다. 이는 작업대 높이가 작업자의 신체 치수(특히 팔꿈치 높이)에 비해 현저히 낮을 경우, 작업자가 정밀 작업을 위한 시야를 확보하기 위해 상체를 전방으로 과도하게 굽히는(trunk flexion) 동작을 하기 때문이다. Choi and Park (2023)의 연구에 따르면, 작업 공간의 제약으로 인한 부자연스러운 굽힘 자세는 척추 기립근의 부하를 증가시키고 요추의 안정성을 저해한다고 보고하였다. 본 연구의 750mm 조건에서 발생한 높은 COP 수치는 이러한 부자연스러운 자세가 신체 무게 중심(Center of Gravity)을 기저면(base of support)의 전방으로 치우치게 하여, 자세 유지를 위한 하지 근육의 미세 조절 활동을 강제하고 결과적으로 신체 동요를 증폭시킨 것으로 해석된다(Asundi et al., 2005; Seo and Kim, 2000; Duarte and Zatsiorsky, 1999; Ruhe et al., 2011).

4.2 Ergonomic suitability for precise work of the 1,100mm worktable

반면, 1,100mm 조건에서는 750mm 대비 COP 면적이 약 42%, 속도가 약 23% 감소하여 가장 안정적인 작업 자세임이 입증되었다. 본 연구 피험자들의 평균 팔꿈치 높이가 1,075mm이므로, 1,100mm는 팔꿈치 높이보다 25mm 높은 수준이다. 이는 Grandjean (1988)이 제시한 정밀 작업(Precision work)은 팔꿈치 높이보다 높게 설정해야 한다는 인간공학적 설계 원칙과 부합한다(Grandjean, 1988). 흥미로운 점은 1,000mm 조건(Group a)이 750mm보다는 수치가 낮았으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 못한 반면, 1,100mm (Group b)는 확실한 안정성을 보였다는 것이다. 이는 반도체 PM과 같은 초정밀 작업에서는 단순히 '허리를 펴는 것'을 넘어, 팔꿈치를 작업대 위에 안정적으로 지지하거나 상박의 각도를 편안하게 유지할 수 있는 팔꿈치 높이 이상의 작업대(elbow height or above)가 필수적임을 의미한다. 나아가, 1,100mm에서 자세 안정성이 확보된 본 연구의 결과는 단순히 작업 자세가 편해진 것을 넘어서는 의미를 갖는다. 이는 기존 자동화 중심의 FAB 설계 패러다임에서 소외되었던 '인간 중심(human-centric)' 작업 공간 재설계의 필요성을 정량적 데이터로 증명한 것이다. 완전 자동화 이전의 과도기가 장기화되는 현실에서, 매뉴얼 PM 작업 공간에 대한 인간공학적 투자는 작업자 건강뿐 아니라 공정 수율과 직결되는 전략적 과제로 재인식되어야 한다.

4.3 Recommendation

반도체 FAB 내 750mm 작업대 사용은 작업자의 근골격계 부담을 가중시킬 뿐만 아니라, 신체 흔들림으로 인한 미세 조작 오류의 원인이 될 수 있다(Miedema et al., 1997; Iridiastadi and Nussbaum, 2006). Seo and Kim (2000)은 불안정한 지지면이나 자세에서의 작업은 효율이 매우 낮다는 것을 지적한 바 있다(Seo and Kim, 2000; Bhatnagar et al., 1985). 따라서 고도의 집중력과 정밀성이 요구되는 반도체 PM 작업 환경에서는 기존의 사무용 책상(750mm)을 즉시 배제하고, 작업자의 팔꿈치 높이를 고려하여 최소 1,000mm 이상, 권장 1,100mm 수준으로 작업대를 상향 조정하는 것이 타당하다.

4.4 Limitations and future works

본 연구는 몇 가지 한계를 가지고 있으며, 이를 바탕으로 향후 연구 방향을 제시하고자 한다. 첫째, 본 연구는 각 조건당 30초라는 단일 측정 데이터에 기반하였으므로, 장시간 작업에 따른 근피로 누적 효과를 반영하지 못했다. 실제 반도체 PM 작업은 수십 분에서 수 시간까지 소요되므로, 향후 장기 체공(prolonged standing)에 따른 COP 변화 추이와 근피로 누적이 자세 안정성에 미치는 영향을 시계열적으로 분석하는 연구가 필요하다(Miedema et al., 1997; Masuda et al., 1999). 둘째, 본 연구의 피험자는 20대 남성 30명으로 한정되어 있어 다양한 연령, 성별 및 신장 분포를 포괄하지 못하였다. 향후 다양한 인구통계학적 특성을 가진 작업자를 대상으로 높이 조절식 작업대(adjustable workstation)의 효과성을 검증하는 현장 실증 연구가 필요하다. 셋째, 본 실험에서는 팔꿈치 지지 여부를 별도

로 통제하지 않았으므로, 1,100mm 조건에서의 안정성 향상이 체간 굴곡(trunk flexion) 감소에 의한 것인지, 전완 지지(forearm support)에 의한 것인지를 분리하여 분석하지 못하였다. 향후 연구에서는 팔꿈치 지지 조건을 통제변수로 설정하여 각 메커니즘의 기여도를 분리 검증할 필요가 있다.

5. Conclusion

본 연구는 반도체 정밀 유지보수 작업 시 작업대 높이가 작업자의 자세 안정성에 미치는 영향을 규명하고, 현장의 부적절한 작업 환경(750mm) 개선을 위한 인간공학적 가이드라인을 제시하는 데 목적을 두었다. 연구 결과는 다음과 같이 요약된다.

첫째, 현장에서 사용되는 750mm 높이의 작업대는 작업자의 신체 중심 동요(COP)를 크게 증가시켜 작업 안정성을 저해하는 가장 부적절한 조건임이 확인되었다. 둘째, 작업자의 평균 팔꿈치 높이(약 107.5cm)를 상회하는 1,100mm 높이에서 신체 흔들림이 최소화되었으며, 이는 정밀 작업 시 가장 효율적이고 안전한 높이로 판명되었다.

결론적으로, 반도체 협력사는 작업자의 근골격계 질환 예방과 정밀 작업의 수율 향상을 위해 PM 작업대 높이를 작업자의 팔꿈치 높이보다 높은 수준(약 1,100mm)으로 재설계해야 한다. 향후 연구에서는 다양한 신장 분포를 가진 작업자들을 대상으로 높이 조절식 작업대(adjustable workstation)의 효과성을 검증하는 현장 실증 연구가 필요할 것이다.

References

Adams, P.S. and Keyserling, W.M., The effect of size and fabric weight of protective coveralls on range of gross body motions, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56(4), 333-340, 1995.

Asundi, K.R., Bach, J.M. and Rempel, D.M., Thumb force and muscle loads are influenced by the design of a mechanical pipette and pipetting task, *Human Factors*, 47(1), 67-76, 2005.

Bhatnager, V., Drury, C.G. and Schiro, S.G., Posture, postural discomfort, and performance, *Human Factors*, 27(2), 189-199, 1985.

Choi, J.K. and Park, J.H., Analysis of the Lifting Work Posture in a Low Roof Delivery Vehicle using a 3D Motion Analysis System, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 42(4), 305-313, 2023.

Duarte, M. and Zatsiorsky, V.M., Patterns of center of pressure migration during prolonged unconstrained standing, *Motor Control*, 3(1), 12-27, 1999.

Grandjean, E., Fitting the Task to the Man: A Textbook of Occupational Ergonomics (4th ed.), *Taylor & Francis, London*, 1988.

Iridiastadi, H. and Nussbaum, M.A., Muscular fatigue and endurance during intermittent static efforts: effects of contraction level, duty cycle, and cycle time, *Human Factors*, 48(4), 710-720, 2006.

KATS (Korean Agency for Technology and Standards), The 8th National Anthropometric Survey Report (Size Korea), *Ministry of Trade, Industry and Energy, Sejong*, 2021. (in Korean)

Lin, R.T. and Chan, C.C., Effectiveness of workstation design on reducing musculoskeletal risk factors and symptoms among semiconductor fabrication room workers, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37(1), 35-42, 2007.

Masuda, K., Masuda, T., Sadoyama, T., Inaki, M. and Katsuta, S., Changes in surface EMG parameters during static and dynamic

fatiguing contractions, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 9(1), 39-46, 1999.

Miedema, M.C., Douwes, M. and Dul, J., Recommended maximum holding times for prevention of discomfort of static standing postures, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19(1), 9-18, 1997.

Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, Measures to prevent overwork of couriers to ensure that couriers work healthily, *Sejong: MOLIT*, 2020. (in Korean)

Pheasant, S. and Haslegrave, C.M., Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work (3rd ed.), *Taylor & Francis, Boca Raton*, 2006.

Ruhe, A., Fejer, R. and Walker, B., Center of pressure excursion as a measure of balance performance in patients with non-specific low back pain compared to healthy controls: a systematic review of the literature, *European Spine Journal*, 20(3), 358-368, 2011.

Seo, S.L. and Kim, J.S., Analysis of Sloping Ground When Lifting with Force Platform, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Society*, 5(1), 77-86, 2000.

Shirouchi, W., Ishii, S. and Yamamoto, S., Effect of different seat heights on lumbar spine flexion during stand-to-sit motion, *Journal of Physical Therapy Science*, 34(1), 7-12, 2022.

Yang, D.J. and Lee, H.S., Effects of Cognitive-Motor Exergame Dual-Task Training on Balance and Activities of Daily Living in Stroke Patients, *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine*, 12(4), 197-206, 2024.

Author listings

Kyung Jun Kang: kangkyungjun88@gmail.com
Highest degree: Ph.D., Department of Chemistry, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)
Position title: Senior Professional, Giheung EHS team, Foundry Business, Samsung electronics
Areas of interest: Chemistry, Chemical Safety

Su In Park: kntvs5@gmail.com
Highest degree: Hankyong National University, Graduate School, Anseong
Position title: PhD Student, Department of Social Safety Systems Engineering, Hankyong National University
Areas of interest: WMSDs, Human Factors, Safety

Jae Hee Park: maro@hknu.ac.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, KAIST
Position title: Professor, Department of Social Safety Systems Engineering, Hankyong National University
Areas of interest: Chair, WMSDs, Human Error