

# Motion, Electromyography, Push Force, and Satisfaction Evaluations of Vacuum Handle for Usability Improvement

Nahyeon Lee, Baekhee Lee, Seunghoon Lee, Hayoung Jung, and Heecheon You

<sup>1</sup>Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH), Pohang, 37673

## ABSTRACT

**Objective:** The present study is to assess different vacuum handles in terms of motion, electromyography, push force, and satisfaction for usability improvement. **Background:** Existing studies have mainly evaluated diameter and size of cylindrical handles in terms of force and satisfaction; however, not expanded into ergonomic vacuum handles. **Method:** Six vacuum handles were evaluated in terms of motion, electromyography, push force, and satisfaction for three directions (-60°, 0°, and 40°) in a natural front-to-back cleaning task to 36 participants. The motion was evaluated as deviation of comfortable range of motion (CROM) to shoulder and wrist; the electromyography as force exertion rate to deltoid, biceps, flexor carpi ulnaris (FCU), and flexor carpi radialis (FCR); the push force as frontal push force; the satisfaction as 21 usability criteria using 7-point scale. **Results:** Deviation of CROM of vacuum handle for cylindrical type was lower 58% compared to that for rectangular type; force exertion rate more than 15% to FCU and FCR lower 30%; satisfaction of appropriateness in terms of usability higher 1.4 points. **Application:** The vacuum handle analysis results in terms of motion, electromyography, push force, and satisfaction would be applicable to ergonomic vacuum handle design.

Keywords: Vacuum handle, Motion, Electromyography, Push force, Satisfaction

## 1. Introduction

청소기 사용의 효율성, 편의성, 기능성 그리고 만족도 향상을 위해서는 청소기 핸들의 인간공학적 설계가 중요하다. 핸들과 같은 hand tool들의 설계는 주로 손목, 팔꿈치, 어깨 등의 인체부위에 대한 동작과 힘 사용에 영향을 미친다(Aghazadeh and Mital, 1987; Meagher, 1986, 1987; Mital, 1991; Schoenmarklin and Marras, 1989a, 1989b; Tichauer, 1966; Tichauer and Gage, 1977). 인간공학적으로 설계된 핸들은 편의성, 기능성, 그리고 만족도 향상에 기여할 수 있다(Harih and Dolsak, 2014).

기존 연구들은 주로 범용적인 핸들의 형태나 크기에 대한 평가 및 설계 연구를 수행해왔으나, 청소기 핸들의 설계인자에 대한 연구는 미비한 실정이다. 기존 핸들 연구들은 주로 원통형(cylindrical) 핸들 평가를 수행하였다(Bechtol, 1954; Blackwell et al., 1999; Cotton and Bonnell, 1969; Cotten and Johnson, 1971; Ergonomics Group of Eastman Kodak, 1986; Hertzberg, 1955; Montoye and Faulkner, 1965; Petrofsky et al., 1980; Pheasant and Scriven, 1983). 효과적인 핸들 형상은 청소 작업에 따라 상이할 수 있다(Cochran et al., 1986). 청소기 사용에 최적화된 핸들을 설계하기 위해서는 청소기 핸들의 설계인자에 따른 평가 및 설계가 필요하다.

청소기 사용 시 동작, 근전도, 작용힘, 그리고 만족도를 고려한 청소기 핸들 설계는 효율성, 사용 편의성, 기능성과 같은 청소 성능 향상에 기여할 수 있다. Lee et al. (2008)은 동작과 힘 사용을 함께 고려하여 설계된 제품은 효율성, 사용 편의성, 그리고 만족도를 향상시킬 수 있음을 파악하였다. 만족도는 제품 기능성에 직접적으로 연관되기 때문에 만족도를 고려하여 설계된 핸들은 기능성을 제고할 수 있다(Kinchington et al., 2012; Kuijt-Evers et al., 2007; Mundermann et al., 2001).

본 연구는 청소기 핸들 6종을 대상으로 청소기 사용 시 동작, 근전도, 작용힘, 그리고 만족도를 평가하였다. 인간공학적 청소기 핸들 설계를 위하여 설계인자별 우수 특성이 파악되었다.

## 2. Method

### 2.1 Vacuum handles

청소기 핸들의 우수 설계인자 특성 파악하기 위하여 Figure 1에 나타낸 것과 같이 형상과 크기가 상이한 국내외 청소기 핸들 6종이 선정되었다.



Figure 1. Vacuum handles

## 2.2 Participants

청소기 핸들 평가 실험에서는 20 ~ 50대 36명(남: 18명, 여: 18명)이 참여하였다. 실험참여자들은 한국인 손너비(hand breadth)의 남녀 각각의 분포를 참고하여 small( $\leq 33^{\text{rd}}$  percentile), medium( $33^{\text{rd}} \sim 67^{\text{th}}$  percentile), 그리고 large( $\geq 67^{\text{th}}$  percentile) 치수로 구분되어 고르게 모집되었다.

## 2.3 Apparatus

청소기 핸들 평가를 위하여 동작 분석 장비, EMG 측정 장비, 그리고 loadcell 장비가 사용되었다. 동작 분석 장비로는 Hawk system(Motion Analysis, USA)과 Cortex-64 프로그램이 사용되었으며, 동작 인식을 위한 11개의 marker가 인체(견갑골 상부, 견갑골 최내측, 7번째 경추, 6번째 흉추, 상완, 팔꿈치, 하완, 척골, 요골, 2번째와 5번째 손허리뼈)에 부착되어 사용되었다. EMG 측정 장비로는 TELEMIO DTS Telemetry (Noraxon, USA)가 근전도 측정 시 사용되었다. Loadcell 장비로는 Nano 25(ATI, USA)가 작용힘 측정을 위해 핸들과 파이프 체결부위에 삽입되어 사용되었다.

## 2.4 Tasks and measures

본 실험은 Figure 2과 같은 실험 환경의 제자리에서  $-60^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $40^\circ$  방향에 대해 왕복 7회의 자연스러운 전후 청소 동작 수행 시의 동작, 근전도, 작용힘을 동시에 측정하고, 자유롭게 청소기 핸들을 사용하며 만족도를 평가하였다. 동작 측면에서는 편안한 동작 범위 이탈정도가 손목의 굴곡( $\leq 15^\circ$ ), 신전( $\leq 15^\circ$ ), 척골편향( $\leq 5^\circ$ ), 요골편향( $\leq 10^\circ$ ) 운동과 어깨의 굴곡( $\leq 30^\circ$ ), 신전( $\leq 10^\circ$ ), 외전( $15^\circ \sim 65^\circ$ ) 운동에 대해 평가되었다(Chaffin et al., 2006). 근전도 측면에서는 삼각근, 상완이두근, 척측 수근 굴근, 그리고 요측 수근 굴근의 최대 발휘 힘 대비 작업수행 시의 발휘 힘 비율이 low( $\leq 5\%$ ), medium( $5\% \sim 15\%$ ), high( $\geq 15\%$ )의 3개 수준으로 나뉘어 평가되었다. 작용힘 측면에서는 전방 작용힘의 최대값이 평가되었다. 만족도 측면에서는 L사의 청소기 핸들을 기준으로 나머지

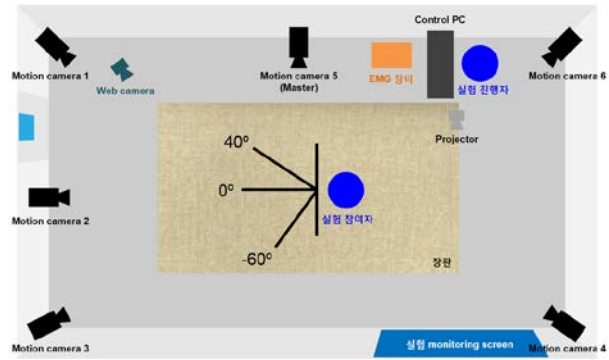


Figure 2. Experimental environment

5종의 핸들의 길이, 거리 적절성과 곡률, 각도 적절성, 그리고 사용성 측면이 7점 양극 척도로 평가되었다.

## 2.5 Experimental procedure

본 실험은 다섯 단계의 절차(S1. 실험 설명, S2. 실험 준비, S3. 동작, 근전도, 작용힘 평가, S4. 만족도 평가, S5. 사후 설문)를 통해 수행되었다. 첫째, 실험 준비 단계에서는 피실험자에게 실험에 대해 설명하고 실험 참여 동의서를 받았다. 둘째, 피실험자의 손너비를 vernier calipers로 측정하고 지정된 위치에 marker와 EMG 센서를 부착하였다. 피실험자가 동일한 위치에서 실험 동작을 자연스럽게 수행할 수 있도록 위치를 결정하고 파이프 길이를 조절하였다. 셋째, balanced Latin-square design된 순서에 따라 피실험자가 제자리에서  $60^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $40^\circ$  방향에 대해 왕복 7회의 전후 청소 동작을 수행하였다. 넷째, 평가 항목 안내 동영상을 참고하여 만족도가 평가되었다. 마지막으로, 실험 종료 후 사후 설문을 수행하고 실험 참여비를 지급하였다.

## 3. Results

### 3.1 Motion

손목과 어깨의 편안한 동작범위 이탈정도는 전반적으로 B사와 M사의 핸들이 낮았고, 특히 손목의 굴곡, 신전 운동 측면에서 최대 57.7% 낮았다. 각 평가 항목에서 편안한 동작범위 이탈정도가 1순위와 2순위로 낮은 항목의 수는 Table 1에 나타난 것과 같이 B사의 핸들이 8개, M사가 6개로 가장 많았고 L사, D사, E사, T사는 각 3개, 4개, 2개, 1개로 나타났다. 왼쪽 방향

**Table 1.** Percentage of deviation from comfortable range of motion (%) (Blue background: the lowest in each category, green background: the second lowest in each category)

Task	평가 항목	L사	B사	D사	E사	M사	T사	
Left (40°)	Shoulder	Abductor/Adduction	1.0	0.3	1.2	1.7	1.2	1.2
		Flexion/Extension	59.8	48.2	53.2	59.0	55.8	57.6
	Wrist	Ulnar/Radial Deviation	64.2	60.4	57.0	61.6	60.6	63.6
		Flexion/Extension	92.5	29.8	38.5	21.9	16.3	20.2
		Abductor/Adduction	11.8	10.0	15.6	9.2	12.6	11.8
		Flexion/Extension	49.6	47.4	44.0	48.3	47.4	48.3
Forward (0°)	Shoulder	Abductor/Adduction	11.8	10.0	15.6	9.2	12.6	11.8
		Flexion/Extension	49.6	47.4	44.0	48.3	47.4	48.3
	Wrist	Ulnar/Radial Deviation	60.1	68.7	48.6	61.1	65.0	65.6
		Flexion/Extension	45.5	14.8	46.8	41.5	36.3	41.9
		Abductor/Adduction	20.1	20.4	21.6	18.8	20.9	21.4
		Flexion/Extension	52.5	51.5	48.3	51.8	51.0	51.2
Right (40°)	Shoulder	Abductor/Adduction	20.1	20.4	21.6	18.8	20.9	21.4
		Flexion/Extension	52.5	51.5	48.3	51.8	51.0	51.2
	Wrist	Ulnar/Radial Deviation	55.2	68.5	53.2	58.8	55.2	62.0
		Flexion/Extension	53.0	37.9	55.2	41.9	41.7	44.0

청소 동작 수행 시 손목의 굴곡, 신전 운동 측면에서 M사 핸들의 편안한 동작범위 이탈정도가 16.3%로 38.5%인 D사 대비 57.7% 낮았다.

### 3.2 Electromyography

삼각근, 상완이두근, 척측 수근 굴근, 그리고 요측 수근 굴근의 힘 발휘율은 low( $\leq 5\%$ ) 비율이 B사가 가장 높고 high( $\geq 15\%$ ) 비율이 M사가 가장 낮았다. 각 평가 항목에서 low 비율이 1순위와 2순위로 높은 항목의 수는 Table 2에서 나타난 것과 같이 B사가 8개로 가장 많았고 L사, D사, E사, M사, T사는 각 2개, 5개, 3개, 3개, 6개로 나타났다. 각 평가 항목에서 high( $\geq 15\%$ ) 비율이 1순위와 2순위로 낮은 항목의 수가 M사는 8로 가장 많았고 L사, B사, D사, E사, T사는 각 3개, 3개, 4개, 4개, 2개로 나타났다. 왼쪽 방향 task 수행 시 요측 수근 굴근의 15% 이상 힘 발휘율은 M사의 핸들은 20%로 28.6%인 D사 대비 30.1% 낮았다.

### 3.3 Push force

전방향 작용힘은 전반적으로 E사의 핸들이 낮았으나 핸들 간 차이가 최대 1.0 N(100 g)으로 적게 나타났다.

**Table 2.** Force exertion rate (%) (Blue background: the highest low rate in each category, green background: the lowest high rate in each category)

Task	평가 항목	L사			B사			D사			E사			M사			T사		
		Low	Median	High	Low	Median	High	Low	Median	High	Low	Median	High	Low	Median	High	Low	Median	High
Left (40°)	상완이두근	11.7	46.7	14.7	16.8	41.2	36.2	12.3	44.2	39.3	18.5	47.2	13.4	12.3	44	41.8	31.8	44.3	31.4
	척측수근굴근	49.3	45	15.6	49.4	37.9	7.2	41.5	43.3	11.1	38.0	45.4	12.3	41.1	46.4	3.8	43.5	41.9	16.8
	요측수근굴근	38.8	48	25.5	31.3	40.6	25.1	29.4	46.4	29.1	25	46.3	36.4	31.9	45.9	26.1	33.5	45	30.4
	동측수근굴근	16.3	51.5	29	21	47.1	23.5	18.2	49	53.4	21.2	42.6	22.4	25	53	39	24.8	46.4	24.3
Forward (0°)	상완이두근	34.5	48.1	22.5	21.2	48.1	24.1	28.9	54.2	18	19.5	49.2	25.1	27.9	51.9	18.3	34.2	49.4	21.8
	척측수근굴근	14	51.1	23.8	33.2	42.9	23.8	22.2	42.8	24.3	18.2	58.4	21.8	18.2	52.4	21.4	20	49.2	22.9
	요측수근굴근	29.2	56.4	19	19.7	52.4	19.9	24.2	50.6	18.2	17	55.5	18.8	17.3	59.6	17.5	26.4	49.3	21.3
	동측수근굴근	26.5	45.5	28.9	22.7	44.9	29.8	21.9	39	17.4	21.9	49.9	23.1	18.8	56.5	22.1	23.1	51.9	19.4
Right (40°)	상완이두근	38.4	46.2	11	19.4	48.8	15	26.9	54.6	9.8	30.6	58.5	10.4	36.9	51.5	8.9	20.9	51.8	18.4
	척측수근굴근	19	48.3	25.5	21.2	40.9	33.4	23.7	43.2	22.3	21.2	43.4	30.5	20.2	39.8	29.1	38.8	44.3	30.9
	요측수근굴근	18.2	52.4	37.1	18.6	47	29.5	19.1	43.8	31	21.8	54.2	22	14.4	48.8	32.8	39.1	48	28.1

왼쪽, 정면, 오른쪽 방향 청소 동작 시 E사 핸들의 전방향 작용힘은 각 3.6N, 1.8N, 3.1N으로 나타났다. 각 task 별 전방향 작용힘 최대값과 최소값의 차이는 0.7 ~ 1.0N으로 적게 나타났다.

### 3.4 Satisfaction

만족도는 전반적으로 T사의 핸들이 높게 평가되었으며, 특히 사용성 측면에서 만족도가 높은 것으로 나타났다. 각 항목의 만족도가 1순위와 2순위로 높은 항목의 수는 Table 3에서 나타난 것과 같이 T사의 핸들은 21개, M사 13개, L사 0개, B사 2개, E사 2개로 T사의 핸들의 만족도가 가장 높게 평가되었다. T사의 핸들 만족도 평균 점수는 길이, 거리 적절성 0.9, 곡률, 각도 적절성 1.1, 사용성 1.4점으로 기준 핸들 대비 사용성 측면이 가장 높게 평가되었다.

## 4. Discussion

본 연구는 효율성, 편의성, 기능성 그리고 사용자 만족도 향상을 위하여 다양한 청소기 핸들 형상에 대하여 동작, 근전도, 작용힘, 그리고 만족도를 평가하였다. 본 연구는 직사각형 단면 형상 핸들 대비 원통형 형상 핸들의 동작, 근전도, 작용힘, 그리고 만족도 측면에서 우수하게 평가되는 것을 파악하였다. 파악된 청소기 핸들 설계인자의 우수 특성은 인간공학적 청소기 핸들 설계 시 가이드라인으로 활용될 수 있다.

**Table 3.** Satisfaction (point) (Blue background: the highest in each category, green background: the second highest in each category)

평가 항목	L사 (기준)	B사	D사	E사	M사	T사	
길이, 거리 적절성	1. 핸들상단 단면 길이	0	0.4	0.2	-0.2	1.4	1.0
	2. 핸들 단면 접촉 높이	0	-0.1	0.6	0.5	0.0	1.0
	3. 핸들 단면 중단 높이	0	0.6	0.7	0.5	0.3	0.7
	4. 핸들 중심-포이프 중심 사이 거리	0	0.8	0.1	0.8	1.1	1.3
	5. 핸들상단 평면 접촉 폭	0	-0.5	0.6	0.5	0.2	0.9
	6. 핸들상단 평면 중단 폭	0	0.3	0.7	0.6	0.0	0.9
	7. 핸들 하단 평면 중단 폭	0	0.4	1.0	0.4	0.3	0.8
	8. 핸들상단 단면 접촉	0	0.6	0.1	-0.2	1.1	1.3
곡률, 각도 적절성	9. 핸들상단 단면 중단	0	0.7	0.3	0.2	1.2	1.4
	10. 핸들 하단 단면 중단	0	0.9	1.0	-0.1	1.1	1.0
	11. 핸들상단 평면 접촉	0	0.1	-1.0	0.2	0.9	1.1
	12. 핸들상단 평면 중단	0	0.4	-0.6	-0.3	0.9	1.0
	13. 핸들 하단 평면 중단	0	0.9	0.8	0.3	0.7	0.9
	14. 핸들경사각	0	0.9	-0.1	0.4	1.1	1.3
사용성	15. 조작 용이성	0	0.8	0.3	1.0	1.4	1.6
	16. 형태 적합성	0	0.8	0.3	0.5	1.4	1.3
	17. 자세 적합성	0	1.2	0.6	1.1	1.0	1.3
	18. 힘 적합성	0	0.5	0.2	1.4	0.9	1.4
	19. 동작 효율성	0	0.8	0.1	0.7	0.9	1.4
	20. 그림감	0	1.1	0.3	0.4	1.1	1.6
	21. 전반적 만족도	0	1.0	0.4	0.9	1.5	1.7

본 연구의 추후 연구로는 최적의 청소기 핸들 개발 연구와 개발된 청소기 핸들의 효과 검증 연구가 수행될 수 있다.

## Acknowledgements

The present research was jointly supported by Mid-career Researcher Program through National Research Foundation (NRF) grant funded by the Ministry of Education, Science and Technology (MEST) (NRF-2015R1A2A2A03005486).

## References

- Aghazadeh, F., Mital, A., Injuries due to hand tools, *Applied Ergonomics*, 18(4), 273–278, 1987.
- Bechtol, C.O., The use of a dynamometer with adjustable handle spacing, *The Journal of Bone and Joint Surgery, American Volume*, 36A(4), 820-832, 1954.
- Blackwell, J.R., Kornatz, K.W., and Heath, E.M., Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis, *Applied Ergonomics*, 30(5), 401-405, 1999.
- Chaffin, D.B., Andersson, G.B.J., and Martin, B.J., *Occupational Biomechanics*, 2006.
- Cochran, D.J. Riley, M.W., The effects of handle shape and size on exerted forces, *Human Factors*, 28(3), 253-265, 1986.
- Cotten, D.J., Bonnell, L., Investigation of the T-5 cable tensiometer grip attachment for measuring strength of college women, *Research Quarterly*, 40, 848–850, 1969.
- Cotten, D.J., Johnson, A., Use of the T-5 cable tensiometer grip attachment for measuring strength of college men, *Research Quarterly*, 41, 454–456, 1971.
- Ergonomics Group, Eastman Kodak Company, *Ergonomics design for people at work*, 2, Appendix A: 469, 1986.
- Hertzberg, T., Some contribution of applied physical anthropology to human engineering, *Annals of the New York Academy of Science*, 63, 616–629, 1955.
- Harih, G., Dolsak, B., Comparison of subjective comfort ratings between anatomically shaped and cylindrical handles, *Applied Ergonomics*, 45, 943-954, 2014.
- Kinchington, M., Ball, K., and Naughton, G., Relation between lower limb comfort and performance in elite footballers, *Phys. Ther. Sport* 13, 27-34, 2012.
- Kuijt-Evers, L.F.M., Vink, P., de and Looze, M.P., Comfort predictors for different kinds of hand tools: differences and similarities, *Ergon*, 37, 73-84, 2007.
- Lee, W., Jung, K., and You, H., Development and application of a grip design method using hand anthropometric data, In *Proceedings of the 2008 Spring Joint Conference of the Korean Institute of Industrial Engineers & The Korean Operations Research and Management Science Society*, 2008.
- Meagher, S.W., Hand tools: cumulative trauma disorders caused by improper use of design elements, *Trends in Ergonomics/Human Factors III*, 581–587, 1986.
- Meagher, S.W., Tool design for prevention of hand and wrist injuries, *Journal of Hand Surgery*, 12A(5), 855–857, 1987.
- Mital, A., Hand Tools: injuries, illnesses, design, and usage, *Workspace, Equipment, and Tool Design*, 1991.
- Montoye, H.J., Faulkner, J.A., Determination of the optimum setting of an adjustable grip dynamometer, *The Research Quarterly*, 35(1), 29–36, 1965.
- Mundermann, A., Stefanyshyn, D.J., and Nigg, B.M., Relationship between footwear comfort of shoe inserts and anthropometric and sensory factors, *Med. Sci. Sport Exer*, 33, 1939-1945, 2001.
- Petrofsky, J.S., Williams, C., Kamen, G., and Lind, A.R., The effect of handgrip span on isometric exercise performance, *Ergonomics*, 23(12), 1129–1135, 1980.
- Pheasant, S.T., Scriven, J.G., Sex differences in strength. Some implications for the design of hand tools, In *Proceedings of the Ergonomics Society Conference*, 9–13, 1983.
- Schoenmarklin, R.W., Marras, W.S., Effects of handle angle and work orientation on hammering: I. Wrist motion and hammering performance, *Human Factors*, 31(4), 397–411, 1989a.
- Schoenmarklin, R.W., Marras, W.S., Effects of handle angle and work orientation on hammering: II. Muscle fatigue and subjective ratings of body discomfort, *Human Factors*, 31(4), 413–420, 1989b.
- Tichauer, E.R., Some aspects of stress on forearm and hand in industry, *Journal of Occupational Medicine*, 8(2), 63–71, 1966.
- Tichauer, E.R., Gage, H., Ergonomic principles basic to hand tool design, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 8, 622–634, 1977.

## Author listings

**Nahyeon Lee:** dnnh1218@postech.ac.kr

**Highest degree:** B.S., Department of Industrial Design Engineering, KOREATECH

**Position title:** M.S. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Usability testing

**Baekhee Lee:** x200won@postech.ac.kr

**Highest degree:** M.S., Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

**Position title:** Ph.D. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Vehicle ergonomic, Clinical ergonomic, Ergonomic product design & development, Digital human modeling & simulation

**Seunghoon Lee:** shoonlee@postech.ac.kr

**Highest degree:** M.S, Mechanical Engineering, Sogang University

**Position title:** Ph.D. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Ergonomic product design & development, Digital human modeling & simulation, Anthropometric and biomechanical methods for product development, Biomechanical properties and injury tolerance of the human body

**Hayoung Jung:** niceterran36@postech.ac.kr

**Highest degree:** B.S., Industrial & Media Design, Handong Global University

**Position title:** M.S. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Vehicle ergonomic, Ergonomic product design & development, Industrial design, HCI & UX design

**Heecheon You:** hcyou@postech.ac.kr

**Highest degree:** Ph.D., Industrial Engineering, Pennsylvania State University

**Position title:** Associate Professor, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Digital human modeling & simulation, Human performance & workload assessment, Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) prevention, Usability testing