동작 분석을 통한 인간공학적 제품 설계 평가 방법 개발

An Ergonomic Product Design Evaluation Method Using Motion Analysis

장준호*, 유희천**

* 포항공과대학교 산업경영공학과 (junozard@postech.ac.kr)
** 포항공과대학교 산업경영공학과 (hcyou@postech.ac.kr)

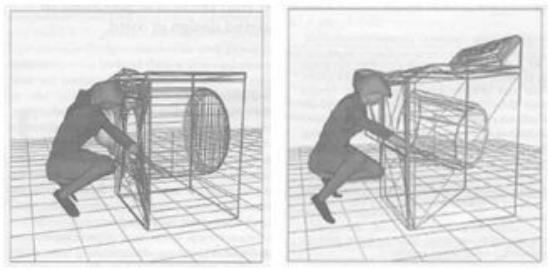
Abstract

동작 분석을 이용한 제품 설계 평가는 제품 사용시 자세 및 동작의 편의성을 평가하여 제품 설계의 개선 방법을 결정하는 역할을 한다. 본 연구에서는 동작 분석을 이용하여 제품에 대한 자연스러운 사용 자세 및 동작을 정량적으로 분석하고 제품 사용 자세 및 동작과 비교 분석하여 제품을 평가하는 방법을 개발하였다. 제품의 체계적인 이해를 위한 사용자 interface 분석은 제품 설계 특성 분석, 제품 사용 작업 특성 분석, 사용자 특성 분석, 사용 환경 특성 분석으로 구성되며, 제품 사용 동작 분석은 실험 protocol 수립, 동작 분석 system 설정, 정량적, 정성적 분석의 일련의 과정을 통해 구성된다. 제품 설계 평가를 위해 자연스러운 제품 사용 자세 및 동작을 정량적으로 파악하고 실제 제품 사용 자세 및 동작과 비교 분석하였으며, 청소기 설계 평가에 적용해 보았다. 본 연구는 제품 설계를 평가하고 개선 방안을 도출하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

삶의 질이 향상되고 제품을 사용하는 고객의 needs가 다양화되면서 제품의 사용성(usability)에 대한 관심이 증가하고 있다. 자동차, 정보통신, 컴퓨터, 사무기기, 의류 등 217개 품목에 대한 히트상품의 성공 요인에 대한 분석한 결과를 보면 제품의 성공요인 중 사용성이 15%로 중요하게 고려되고 있다(손은일과 박창규, 2001). 따라서, 제품의 사용성 향상을 위해 기존 제품의 설계를 인간공학적으로 평가하고 개선하기 위한 연구가 필요하다.

제품의 사용성 향상을 위해 인간의 생체역학적 특성을 제품 설계에 반영하는 연구는 진행되고 있으나, 사용자의 자연스럽고 편안한 사용 자세와 동작을 정량적으로 제품 설계에 반영하는 연구는 미흡하다. Nelson et al.(2000)과 Treaster and Marras (2000)의 경우 keyboard 사용시 손의 자세 및 동작을 분석하였으나, 손의 자연스러운 제품 사용 자세 및 동작에 대한 고려는 하지 않았다. 또한, Nyberg and Kempic(2006)의 경우 드럼 세탁기의 사용성 개선을 위해 드럼 세탁기 사용시 신체의 자연스러운 자세 및 동작을 설계에 반영하였으나, 정량적인 방법을 통한 제품 설계 개선 방안은 제시하지는 못하였다(그림 1 참조).



a. 개선 전 b. 개선 후

그림 1. 드럼세탁기의 사용성 개선

본 연구에서는 제품에 대한 자연스러운 사용 자세 및 동작을 정량적으로 분석하고 실제 제품 사용 자세 및 동작과 비교 분석하여 제품을 평가하는 방법을 개발하였다. 이를 위해 3차원 동작 분석 시스템을 이용하여 전신의 동작을 측정할 수 있는 방법을 제안하였으며, 자연스러운 제품 사용 자세 및 동작을 정량적으로 정의하는 방법을 제안하였다. 또한 실제 제품 사용 자세 및 동작과 비교 분석을 통해 제품 설계를 평가하는 방법을 제시하였고 마지막으로 청소기 설계 특성 평가에 적용해 보았다.

2. 제품 설계 평가 모델

제품 사용시 동작 분석을 통한 인간공학적인 제품 설계 평가를 수행하기 위해 제품 설계 평가 모델을 개발하였다(그림 2 참조). 사용자 interface 분석은 대상 제품에 대해 체계적으로 이해하기 위한 단계로써, 제품 설계 특성 분석, 제품 사용 작업 특성 분석, 사용자 특성 분석, 사용 환경 특성 분석으로 구성된다. 제품 사용 동작 분석은 사용자 interface 분석 data를 활용하여 대상 제품의 사용 자세 및 동작을 동작분석 실험을 통해 평가하고 분석하는 단계로서, 실험 protocol, 동작 분석 system, 정량적 분석, 정성적 분석으로 구성된다. 동작 분석을 통한

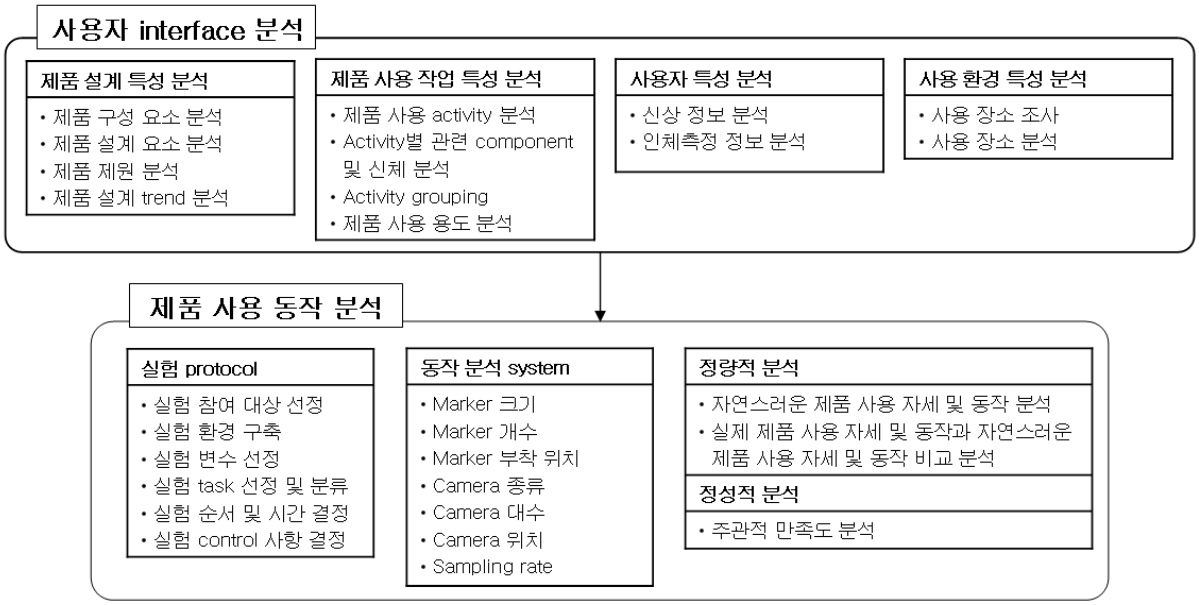


그림 2. 동작 분석을 통한 제품 설계 평가 모델

제품 설계 평가 모델의 각 단계에 대한 상세한 설명 및 청소기 설계에 있어서의 적용은 3장과 4장에 걸쳐 상세히 기술되어 있다.

3. 사용자 interface 분석

3.1 제품 설계 특성 분석

제품의 설계 특성에 대한 이해를 위해 제품의 구성 요소, 설계 요소, 설계 trend를 분석한다. 제품을 component별로 분석하고 크기, 무게, 형태, 개수 등의 설계 요소들을 matrix를 이용하여 제품과 관련된 설계 요소를 찾아낸다. 그림 3은 청소기 구성 component의 관련 설계 요소를 matrix를 통해 체계적으로 찾아내는 예이다. 파악된 설계 요소들을 기준으로 측정을 통한 제원 분석을 수행하고 현재의 설계 trend를 유추한다. 그림 4는 청소기의 크기, 무게, 형태에 대한 제원 분석을 통해 설계 trend를 유추해내는 예이다.

그림 3. 청소기 설계 요소 분석을 위한 matrix

그림 4. 설계 요소 분석표

3.2 제품 사용 작업 특성 분석

제품 사용 작업 특성을 이해하기 위해 제품 사용 activity 분석, activity별 관련 component 및 관련 신체 부위 분석, activity grouping, 제품 사용 용도 분석을 수행한다. 제품 사용자 manual, brainstorming, video 분석 등을 통해 제품 사용 activity를 분석하며, activity별로 관련된 제품의 component와 사용되는 신체 부위를 분석한다. 예를 들어, 표 1은 청소기의 activity별 관련 component와 관련 신체 부위에 대해 보여주고 있다.

표 1. 청소기 작업별 특성 분석

Activity 구분		관련 component	관련 신체 부위
청소	이동	운반용 손잡이, 호스 손잡이	신체 전반
	전원 on	본체 전원 스위치	손
	사용	호스 손잡이, 연장관, brush	신체 전반
보관	전선 정리	전원 plug, 전선	상지

3.3 사용자 특성 분석

사용자 특성 분석을 위해 대상 제품 사용자의 신상 정보와 인체측정 정보를 분석한다. 설문이나 FGI(focus group interview)를 통해 사용자의 성별, 연령, 소득 수준, 제품 평균 사용 시간 등을 분석하며, 측정을 통해 키, 손길이, 손둘레, 손너비 등의 인체측정 정보를 분석한다. 예를 들어, 청소기의 경우는 30~50대 여성 주부가 주로 사용하는 것으로 파악되었다.

3.4 사용 환경 특성 분석

제품에 대한 사용 환경 특성 분석을 위해 제품 사용 장소를 조사하고 분석한다. 대상 제품의 사용 장소를 조사하기 위해 설문, FGI, 제품 manual 분

석, brainstorming 등을 수행하고 사용 장소를 파악한다. 제품 사용 작업 특성 분석시 수행한 제품 사용 용도 분석 data를 활용하여 대상 제품의 주요 사용 장소를 파악한 후 장소의 크기, 형태, 표면 특성 등을 분석한다. 청소기의 경우 주사용 장소로서 장판이 깔린 거실과 방바닥, 가구 아래, 모서리 등으로 파악되었다.

4. 제품 사용 동작 분석

4.1 실험 protocol

대상 제품에 대한 사용 자세 및 동작을 분석하기 위해 사용자 interface 분석 결과를 활용하여 실험 protocol을 수립한다. 신상 정보 분석 결과를 활용하여 실험 참여 대상을 선정하며, 분석된 주요 사용 장소와 유사하게 실험 환경을 구축한다. 제품 설계 특성 분석 결과를 통해 얻은 data와 제품 사용 자세 및 동작 분석을 고려하여 독립변수와 종속변수를 선정한다. 제품 사용 activity와 사용 빈도를 고려하여 주요 activity를 선별하고 실험 환경에 맞게 task로 변환한다. 대상 제품에 대한 자연스러운 사용 자세 및 동작과 실제 제품 사용 자세 및 동작을 비교 분석하기 위해 task를 제품을 실제 사용하지 않은 상태에서 사용자가 생각하는 자연스럽고 편안한 사용 자세 및 동작을 수행하는 task와 실제 제품을 사용하는 task로 분류한다. 실험 환경과 목적을 고려하여 실험 시간과 순서를 결정하고 실험 수행시 지켜야할 제약 조건이나 주의 사항은 별도로 기록해 둔다.

청소기 사용시 전신 동작을 평가하기 위해 실험 protocol을 수립하였다. 실험 대상자는 30~50대 여성 주부로 선정하였고 실험 환경은 장판을 활용하여 거실 및 방바닥과 유사하도록 조성하였다. 청소기 설계를 독립변수로 선정하였으며 전신의 관절 각도의 변화를 종속 변수로 선정하였다. 전신 청소 동작 분석을 위해 제자리 방향전환 청소 동작, 전/후 이동 청소 동작, 좌/우 이동 청소 동작의 3가지 task를 선정하였고 사용자가 생각하는 자연스럽고 이상적인 청소 동작을 구현하는 자연스러운 청소 동작 task와 실제 청소기 사용 동작 task로 분류하였다(그림 5 참조). 실험 시간은 task에 따라 20초, 30초로 배정하였고 실험 순서는 모두 randomization 하였다. 실험 중 청소대 길이는 실험 참여자가 편안해하는 청소대 길이로 조절 가능하도록 허용하였으며, task 수행시 청소기 호스와 본체가 청소 동작을 방해하지 않도록 실험 참여자의 움직임을 control하였다.

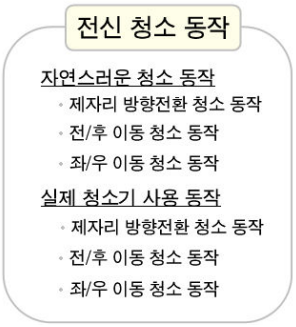


그림 5. 전신 청소 동작 task 분류

4.2 동작 분석 system

제품의 사용 자세 및 동작 분석을 위해 동작 분석 system을 활용한다. 실험 protocol에서 선정된 tasks를 고려하여 관련 중요 신체 부위를 분석하고 reflective marker의 크기, 개수, 부착 위치 및 camera 종류와 수를 결정한다. Tasks 수행시 동작의 크기와 범위를 고려하여 camera를 배치하고 동작의 속도를 고려하여 camera의 sampling rate를 결정한다.

전신 청소 동작 분석을 위해 reflective marker set과 Motion Analysis사의 Falcon 240 camera를 사용하였다. 전신 동작을 측정하기 위해 8mm 렌즈가 부착된 camera 5대를 배치하였으며, 25mm marker set 22개를 부착하여(그림 6 참조) 전신 관절의 자유도(Greene and Heckman, 1994)를 산출하고 표 2와 같이 정리하여 전신의 좌표계를 설정하였다. Sampling rate는 60Hz로 고정하였고, 측정된 동작 data의 편집 및 분석을 위해 Motion Analysis사에서 제공하는 EVaRT 4.2와 SI software를 사용하였다.

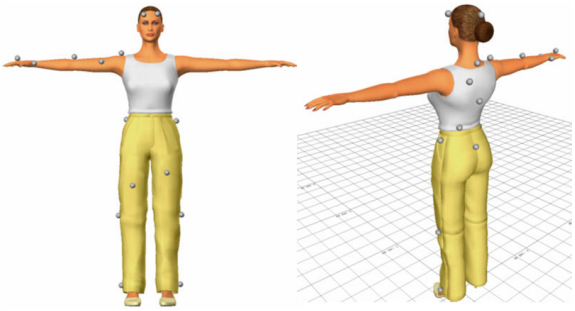


그림 6. 전신 동작 분석을 위한 22개의 marker set

표 2. 전신 관절의 명칭과 자유도(예)

관절 명칭	자유도	동작
손목	2	Flexion/Extension
		Radial Deviation/ Ulnar Deviation
아래팔	1	Pronation/Supination
팔꿈치	1	Flexion/Extension
어깨	3	Elevation/Extension
		External Rotation/Internal Rotation
		Abduction
목	3	Flexion/Extension
		Lateral Bending
		Axial Rotation

4.3 정량적 분석

사용자가 생각하는 자연스럽고 편안한 제품 사용 자세 및 동작 실험 결과를 분석하여 자연스러운 제품 사용 자세 및 동작을 정량적으로 파악한다. 실제 제품을 사용하지 않고 자연스러운 자세 및 동작을 구현한 실험 결과를 task별로 분류하고, 동작 및 관절별로 정량적인 각도 변화 data를 산출한다. 산출된 정량적인 각도 변화 data를 max, min, range, 5%ile, 95%ile, average, median으로 표현하여 제품 사용 자세 및 동작을 파악한다. 실험 참여자에 대해 자연스러운 청소기 사용 동작 실험을 수행한 결과의 예로, 표 3과 같이 전/후 이동 청소 동작 task에 대한 손목의 자연스러운 동작을 파악할 수 있었

다.

표 3. 손목의 자연스러운 청소 동작

관절	동작	Range		Average	Median	5%ile	95%ile
		Max	Min				
손목	Flexion	21°	-	6°	6°	0°	12°
	Extension	-	-18°				

정의된 자연스러운 제품 사용 자세 및 동작을 기준으로 제품의 사용 자세 및 동작을 비교 분석한다. 제품 사용 자세 및 동작 실험 결과를 task별로 구별하고, 동작 및 관절별로 정량적인 각도 변화 data를 산출한다. 산출된 정량적인 각도 변화 data는 통계 기법을 이용해 자연스러운 자세 및 동작과 동일한 방법으로 정의하고 각도 변화 range를 10° 간격별로 분리하여 동작 지속 시간에 대한 빈도 분석을 수행한다(그림 7 참조). 파악된 자연스러운 제품 사용 자세 및 동작은 제품의 사용 자세 및 동작의 range와 percentage를 활용하여 그림 7과 같이 비교 평가한다. 실험 참여자에 대해 파악된 청소기의 자연스러운 사용 동작을 기준으로 청소기 2대에 대한 사용 동작을 비교 분석한 결과, 전/후 이동 청소 동작 task를 기준으로 청소기 A, B 사용시 손목의 flexion/extension 동작을 비교 분석한 결과 청소기 A의 설계가 65%로 청소기 B의 설계 52% 보다 자연스러운 청소 동작이 사용되는 제품으로 분석되었다.

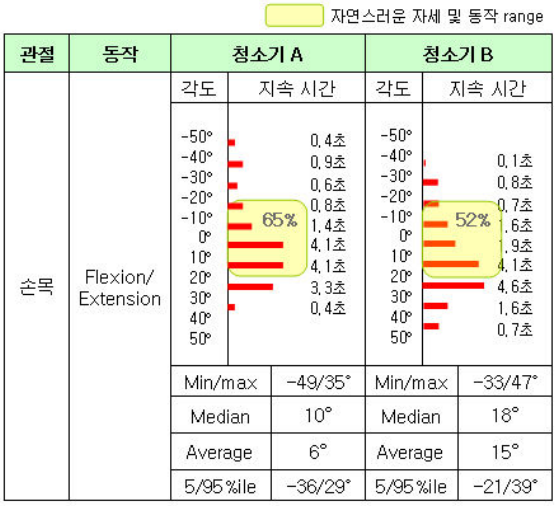


그림 7. 청소기 사용 동작의 정량적 평가

4.4 정성적 분석

주관적인 만족도는 전반적인 만족도와 전신 부위별 만족도로 구분하여 측정하며 평가 척도로는 9-point scale과 Borg CR-10 scale을 사용 한다(그림 8 참조). 전반적인 만족도는 제품 사용시 전반적으로 판단되어지는 제품에 대한 만족도를 측정하며 전신 부위별 만족도는 제품 사용 후 관련 신체 부위에 대한 만족도를 측정한다. 실험 참여자에 대한 청소기 사용 동작 분석 task 수행시 청소기 A와 B에 대한 주관적 만족도 측정 결과, 전/후 이동 청소 동작 task에서 손목 부위 만족도는 청소기 A의 설계가 정량적인 평가에서와 같이 청소기 B의 설계보다 선호되는 것으로 분석되었다(표 4 참조).

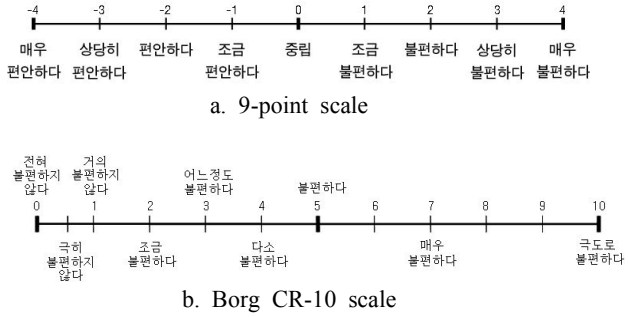


그림 8. 주관적 만족도 평가 척도

표 4. 청소기 사용에 대한 주관적 만족도

종류	청소기 A		청소기 B	
	9-point scale	Borg CR-10	9-point scale	Borg CR-10
손목 부위 만족도	조금 편안하다	중립	조금 불편하다	조금 불편하다

5. 토의

본 연구에서 제시한 동작 분석을 통한 제품 설계 평가 모델은 대상 제품에 대한 체계적인 분석 과정을 통해 대상 제품을 전반적으로 이해하고 정량적으로 설계 평가하는 특징을 가지고 있다. 제품 설계 특성 분석, 제품 사용 작업 특성 분석, 사용자 특성 분석, 사용 환경 특성 분석의 다양한 분석을 통해 대상 제품을 전반적으로 이해 할 수 있으며, 이를 통해 실험 protocol을 설정함으로써 정량적/정성적 분석을 수행할 수 있다. 또한 본 연구에서 제시한 모델은 대상 제품에 대한 이해 단계부터 평가 단계까지 체계적인 과정으로 구성되어 있다.

본 연구에서는 대상 제품에 대한 자연스러운 사용 자세 및 동작을 정량적으로 분석하는 방법을 제시하였다. 기존의 제품 사용 자세 및 동작을 분석하는 방법은 Cutosky (1988)의 classification of grasp와 같이 정성적으로 손의 grip 자세를 정의하거나, Zhang et al. (2003)과 같이 손의 자세 및 동작에 대해 정량적인 분석은 이루어졌으나 자연스러운 자세 및 동작을 고려하지 않는 경우가 많았다. 본 연구에서는 motion capture system을 이용하여 전신의 동작을 정량적으로 분석할 수 있는 방법을 제시하였으며, 실험 protocol을 통해 자연스러운 제품 사용 자세 및 동작을 분석하는 방법을 제시하였다.

본 연구에서 제시한 제품 설계 평가 모델을 청소기 설계 평가에 적용해 본 결과, 정량적인 평가와 정성적인 평가 결과가 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 정량적인 평가 결과와 정성적인 평가 결과가 유사할 경우, 평가 결과에 영향을 준 주요한 요인들을 찾아내어 상관관계를 파악할 수 있기 때문에, 대상 제품에 대한 개선안 도출이 용이할 수 있다. 예를 들어, 4장에서 평가한 청소기의 경우 손목의 각도 변화에 영향을 주는 주요 청소기 설계변수들을 파악하고 주관적인 만족도와의 상관관계를 분석하여 개선안을 도출 할 수 있다.

본 연구에서는 자연스러운 제품 사용 자세 및 동작과 실제 제품 사용 자세 및 동작의 비교 분석을 통해 기존 제품의 설계를 평가하는 방법을 제시하

였다. 기존의 Nelson et al.(2000)과 Treaster and Marras (2000)의 연구들과 같이 제품의 설계 평가에 중심을 둔 연구들과 차별적으로 본 연구에서는 제품의 자연스러운 사용 자세 및 동작을 기준으로 제품들의 설계를 평가함으로써 제품 사용시 자세 및 동작에 대한 정량적인 비교 평가뿐만 아니라, 자연스러운 자세 및 동작과 유사하게 구현되도록 제품 설계 개선을 유도할 수 있다. 이와 같은 시도는 사용자 interface 분석 결과와 정량적/정성적 분석 결과와 함께 제품에 대한 구체적인 개선안 제시와 인간공학적인 설계에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

손은일, 박창규 (2001), 히트 상품의 품질차원에 관한 연구, *한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술논문집*, 133

Cutkosky, M. R., (1988), On grasp choice, grasp models and the design of hands for manufacturing tasks. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 10, 599-620.

Greene, W. B., and Heckman, J. D. (1994), *The clinical measurement of joint motion*, American Academy of Orthopaedic Surgeons.

Nelson, J. E., Treaster, D. E., and Marras, W. S. (2000), Finger motion, wrist motion and tendon travel as a function of keyboard angles. *Clinical Biomechanics*, 15, 489-498.

Nyberg, P., and Kempic, J. (2006), Transforming the Laundry Process, Ergonomics in Design, 14(2), 16-21.

Treaster, D. E., and Marras, W. S. (2000), An assessment of alternative keyboard using finger motion, wrist motion and tendon travel, *Clinical Biomechanics*, 15, 499-503.

Zhang, X., Lee, S., and Braido, P. (2003), Determining fingers segmental centers of rotation in flexion-extension based on surface marker measurement, *Journal of Biomechanics*, 36, 1097-1102.