

손 동작 분석을 통한 제품 설계 평가 방법의 개발

Development of a Product Design Evaluation Method

by Hand Motion Analysis

장준호¹, 이상기², 유희천¹

¹ 포항공과대학교 기계산업공학부, ² 삼성전자 무선사업부

ABSTRACT

손 동작 분석을 이용한 제품 설계 평가는 제품 사용 시 손 동작의 효율성과 편의성을 평가하여 제품 설계의 개선 여부를 결정하는 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 손의 동작 분석을 이용한 제품 설계 평가를 위해 손의 각도와 손가락 tip 의 궤적을 정량적으로 분석하는 방법을 개발하였다. 손 동작의 측정에는 3D motion capture 시스템 Falcon[®]을 사용하여 측정하였으며, reflective marker set 의 좌표를 이용하여 손가락 각도 변화 누적량, 손가락 tip 의 초당 이동 궤적, 손가락 tip 의 누적 이동 궤적을 계산하였다. 개발된 손 동작 분석 방법은 Maya[®]와 SI 를 이용하여 3D 손 모델로 시각화하였으며, button layout 면적을 기준으로 분류한 4 종류의 모바일 폰에 대한 텍스트 입력 task 에 적용하여 타당성을 검증하였다. 본 연구는 제품 설계 평가와 제품에 대한 만족도 개선에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

Keyword: 손 동작 분석, 제품 설계 평가

1. 서론

기술의 발전과 인터넷 사용의 증가로 인해 휴대폰, 키보드, 마우스와 같은 손으로 조작하는 hand-held device 및 input device 의 사용이 증가하고 있다. 모바일 폰, MP3 player, PDA, 디지털 카메라 등 다양한 소형 전자기기들의 등장과 일상생활 및 업무의 디지털화는 hand-held device 및 input device 의 사용량을 증가시키고 있으며, 지속적인 개발을 촉진하고 있다.

이러한 hand-held device 및 input device 에 대한 부적합한 설계와 사용 빈도의 증가는 손가락과 손목에 질환을 야기할 수 있다. Fagarasanu and Kumar(2003)는 conventional 키보드의 부적절한 설계 요인으로부터 발생하는 손가락과 손목의 질환 발생 위험 요인을 분석하였으며, 이준규(2004)는 마우스와 같은 입력 도구의 장시간 사용이 e-피로증후군의 원인의 하나임을 기술하였다.

본 연구에서는 제품 설계 평가를 위해 손의 각도와 손가락 tip 의 궤적을 정량적으로 분석하는 종합적인 손 동작 분석 방법을 개발하고 시각화하였다. 이를 위해, 3 차원 동작 분석 시스템을 이용하여 손 동작을 정확하고 효율적으로 측정할 수 있는 방법을 제안하였으며, 측정된 손 동작 데이터를 바탕으로 손의 움직임을 가시화할 수 있는 3D hand model 을 제작하였다. 또한 본 연구의 타당성 검증을 위해 제안된 손 동작 분석 방법은 모바일 폰 버튼 설계에 적용되어 제품 설계 변화에 따른 손 동작 및 편의성이 평가되었다.

2. 손 동작 분석 방법 개발

2.1 손 동작의 측정 시스템

손 동작을 측정하기 위해 Motion analysis 사의 Falcon 240 카메라를 사용하였다. 손의 움직임을 정확하게 측정하기 위해서 그림 1 과 같이 8 mm

렌즈가 부착된 카메라 6 대를 실험참여자를 중심으로 1.5 ~ 2 m 거리에 배치하였으며, 측정 frequency 는 60Hz 로 설정하였다. 데이터 편집 및 분석에는 EVaRT 4.2 소프트웨어가 사용되었다.



그림 1. Falcon을 사용한 손 동작 측정

2.2 손의 각도 변화량 분석

손가락 및 손목의 각도 변화를 측정하기 위해서 그림 2 와 같이 총 24 개의 reflective marker 를 손에 부착하고, 총 16 개의 관절의 자유도를 산출하여 손의 좌표계를 설정하였다(그림 3 참조). Zhang et al. (2003)이 사용한 21 개의 marker 이외에 손목 부위의 각도를 측정하기 위해서 3 개의 marker 를 추가로 부착하였는데, 각 관절의 명칭(Chao et al., 1989)과 자유도는 표 1 과 같이 정의하였다.



그림 2. Reflective marker set

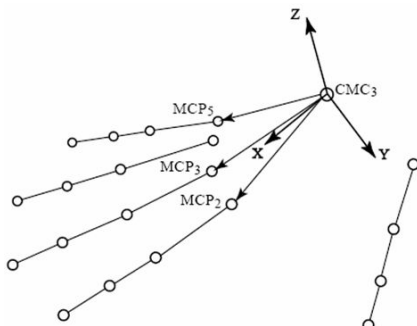


그림 3. 손의 좌표계 설정

표 1. 손 관절의 명칭과 자유도

명칭	설명	자유도
손목 관절 (wrist joint)	아래팔과 손목뼈 사이의 관절	2
손목손바닥뼈 관절 (CMC)	손목뼈와 손바닥뼈 사이의 관절	2
손바닥손가락뼈 관절 (MCP)	손바닥뼈와 첫마디뼈 사이의 관절	2 (엄지:1)
근위손가락뼈 사이 관절 (PIP)	첫마디뼈와 중간마디뼈 사이의 관절	1 (엄지:IP)
위손가락뼈 사이 관절 (DIP)	중간마디뼈와 끝마디뼈 사이의 관절	

자유도가 1 인 손의 관절에 대한 각도 측정은 인접한 세점의 좌표를 이용하여 두 벡터의 사이각을 구하는 방법으로 산출하였다(그림 4 참조). 엄지의 IP, MCP 및 DIP, PIP 와 같이 자유도가 1 인 관절 총 10 개 대해 마커를 시점으로 두개의 벡터를 구하고, 벡터의 내적(수식 1 참조)을 이용하여 사이각의 크기를 구하였다.

$$\theta = \pi - \cos^{-1} \left(\frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} \right) \quad (1)$$

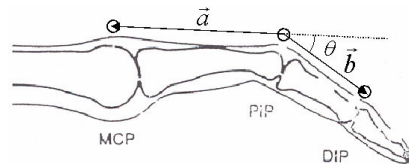


그림 4. 자유도 1인 관절의 각도 계산

자유도가 2(adduction-abduction 과 flexion-extension)인 손의 관절에 대한 각도 측정은 MCP2, MCP5, CMC3 세 점을 지나는 X-Y 기준 평면(Zhang et al., 2003)과 그에 수직인 X-Z 평면을 정의하여 산출하였다(그림 3 참조). 자유도가 2 인 관절의 adduction-abduction 은 그림 5 와 같이 PIP2 marker 를 X-Y 평면에 투영하여 산출하였으며, flexion-extension 은 PIP2 marker 를 X-Z 평면에 투영하여 산출하였다. 산출된 각도 값을 validation 을 위해 jig 를 제작하여 검증하였다.

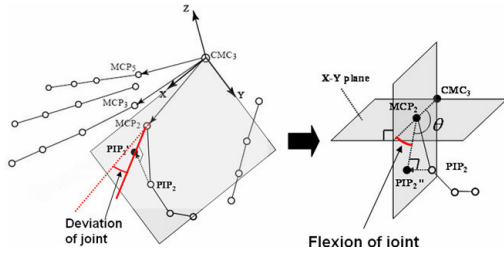


그림 5. 자유도 2인 관절의 각도 계산

2.3 손의 궤적 변화량 분석

손가락의 움직임 정도를 정량화하기 위해 손가락 tip에 부착된 marker의 이동궤적을 분석하였다. 각 frame별 marker의 3차원 변위 차이를 계산하여 누적함으로써, marker의 이동궤적의 거리를 계산하였다(수식 2 참조).

$$Trajectory = \sum_i \sqrt{(x_{ij} - x_{i(j-1)})^2 + (y_{ij} - y_{i(j-1)})^2 + (z_{ij} - z_{i(j-1)})^2} \quad (2)$$

i : marker name
 j : frame number

2.4 손 동작의 시각화

손 동작 측정 데이터를 바탕으로 손의 움직임을 가시화하기 위해서 인체 뼈대 생성 소프트웨어인 SI와 3D graphic modeling 소프트웨어인 Maya[®]를 이용하여 3D hand model을 작성하였다(그림 6 참조). 인체 뼈대 생성 소프트웨어인 SI 2.0을 이용하여 관절의 자유도(degree of freedom)와 동작범위(range of motion)가 잘 정의된 손의 뼈대 모델을 생성하였으며, Maya[®]를 이용하여 polygon으로 구성된 skin을 결합하여 3D hand model을 완성하였다.

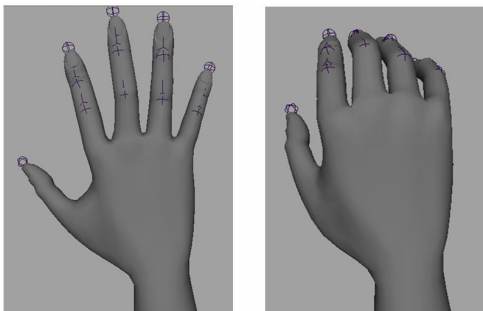
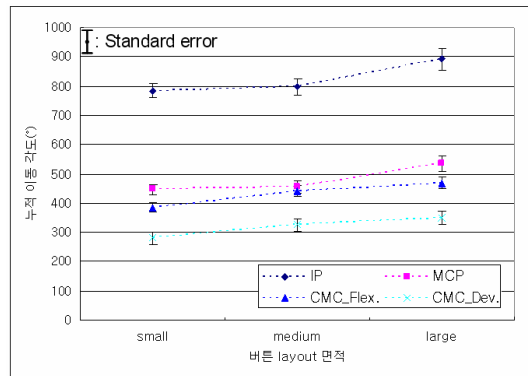


그림 6. 3D hand model

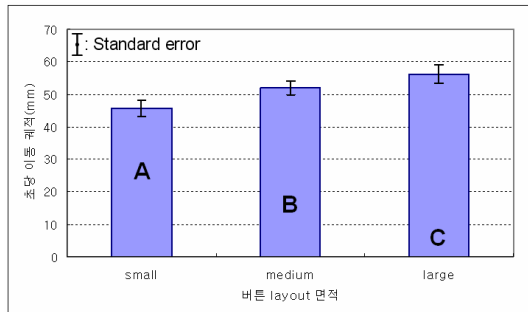
3. 적용 사례

본 연구에서 개발된 손 동작 분석 방법의 효용성을 검증하기 위해 모바일 폰을 사용하여 문자 입력 작업을 수행하였다. 문자 입력 작업에 사용된 모바일 폰들은 동일한 button 배열을 가지는 S사의 제품으로 button layout 면적을 기준으로 대(1260 mm²), 중(1140 mm²), 소(986 mm²) 3가지 종류로 구분되었다. 실험에 참여한 피실험자는 S사 제품을 6개월 이상 사용한 문자 입력 작업에 익숙한 20대 남녀 12명이었으며, 엄지손가락만을 실험에 사용하도록 제약하였다. 또한, 수행된 문자 입력 내용은 비교적 짧고 친숙한 내용을 제시하였다.

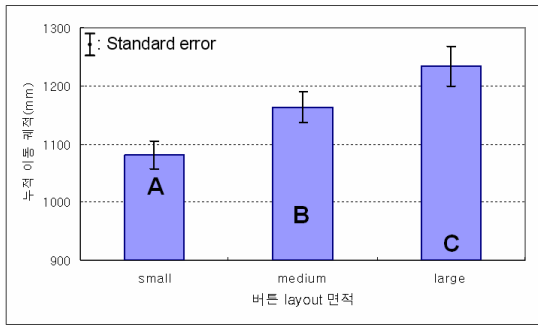
모바일 폰 button layout 면적을 독립변수로 한 실험결과, 관절별 각도 변화 누적량, 엄지손가락 tip의 초당 이동 궤적, 엄지손가락 tip의 누적 이동 궤적에 대한 분석에서 유의한 차이를 보였다(그림 7 참조). 특히 누적 이동 궤적과 각도 변화 누적량 사이에는 0.82의 높은 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다.



(a) 관절 별 각도 변화 누적량



(b) 면적 차이에 따른 tip의 초당 이동 궤적



(c) 면적 차이에 따른 tip의 누적 이동 궤적

그림 7. 문자 입력 작업 결과

4. 결론

본 연구는 motion capture system 을 이용하여 손 동작을 측정하고 정량적으로 분석하는 방법을 제안하였다. 본 연구를 통하여 제품 사용시 손 동작을 각도 또는 이동궤적을 이용하여 정량화하는 것이 가능하며, 이러한 정보를 제품 설계 및 평가에 적용하여 제품의 사용 편의성을 향상시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

- 이준규, e 피로증후군 “족쇄야, 족쇄,” *경향신문*, Retrieved December 13, 2005, from http://www.khan.co.kr/section/art_view.html?artid=200408091548191z&code=900102, 2004
- Chao, E. Y., An, K. N., Cooney, W. P., and Linscheid, R. L., *Biomechanics of the hand: A basic research study*, 1st ED., Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1989
- Fagarasanu, M., and Kumar, S., “Carpal tunnel syndrome due to keyboarding and mouse tasks: a review,” *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31, 119-136, 2003
- Zhang, X., Lee, S., and Braido, P., “Determining fingers segmental centers of rotation in flexion-extension based on surface marker measurement.” *Journal of Biomechanics*, 36, 1097-1102, 2003