

제품의 물리적 사용성 평가를 위한 3 차원 동작분석 S/W 의 개발

박재희¹, 강신길²

¹한국표준과학연구원 인간공학연구실

maro@kriss.re.kr

²한국과학기술원 기계공학과

Development of a three-dimensional motion analysis software for the physical usability test of products

Jae Hee Park¹ and Sheen Gil Kang

¹Ergonomics Laboratory, Korea Research Institute of Standards and Science

maro@kriss.re.kr

²Department of Mechanical Engineering, KAIST

요약

제품이나 환경에 대한 인간의 반응은 생리적 변화로 나타나기도 하지만, 동작 반응(motor-response)으로 나타나기도 한다. 특히 제품의 감성적 설계를 위해서는 가장 기본적으로 이를 조작하는 인체의 자세와 동작에 대한 분석을 필요로 한다. 본 연구는 이를 위해 3 차원 동작측정시스템과 힘판(force platform)에서 얻어진 원시 데이터로부터, 인체의 자세와 동작을 평가하는 소프트웨어를 개발하는 것을 목표로 하였다. 개발된 소프트웨어는 누락(missing)된 데이터의 보간(interpolation), 동작 애니메이션, 관절의 각도 계산, 관절에서의 모멘트(moment) 계산 기능 등을 포함하고 있다. 본 논문은 진공청소기를 사용하는 동작을 기준으로, 이러한 S/W 개발 과정에 사용한 인체 모델과 각 관절의 모멘트 계산 방법에 대해 주로 기술 하였다. 3 차원 동작측정시스템과 본 소프트웨어를 이용하면 진공청소기, 냉장고 등의 제품을 사용할 때의 사용자의 작업 자세와 부하 평가가 가능해져 감성공학적 제품 개발에 활용 할 수 있을 것이다.

1. 서론

제품이나 환경에 대한 인간의 반응은 생리적 변화로 나타나기도 하지만, 동작 반응

(motor response)으로 나타나기도 한다[1]. 특히 운동감각에 의해 형성되는 제품의 이미지(image)는 시각적으로 형성되는 이미지에 못지않게 중요하다. 일례로 세탁기 빨래투입구의 도어(door)가 너무 무겁고, 뽁뽁해 잘 안 열릴 경우 사용자들은 그 세탁기에 대해 좋은 이미지를 갖지 못할 것이다. 냉장고 도어의 손잡이가 적절치 못한 부분에 위치할 경우에도 좋지 않은 팔의 자세를 유발해 역시 제품의 이미지를 나쁘게 할 것이다[2].

또한 조작성이 수반되는 제품들은 근본적으로 생체역학(biomechanics)적으로도 사용자들에게 무리가 없고 사용하기 편리하게 설계되어야 할 것이다. 진공청소기의 경우 본체 무게와 연장관의 길이에 따라 작업의 편리성과 작업 부하 등이 달라지게 되는데 적절하게 설계 변수들을 설정해야 할 것이다[3].

이러한 작업들이 가능하기 위해서는 인체의 3 차원 자세와 동작에 대한 측정과 분석이 이루어져야 한다. 이를 위해 한국표준과학연구원은 우선 적외선 필터를 갖는 4 대의 CCD 카메라와 이미지 처리장치로 구성된 3 차원 동작분석시스템(VICON140™)을 구축 하였다. 여기에 지면 반력을 측정하는 힘판(force platform)을 추가하여 동역학(kinematics)적 분석이 가능하도록 했다.

본 연구는 이러한 측정장치로부터 얻어진 원시 데이터들을 이용해 인체의 자세와 동작을 분석하며, 나아가 다양한 제품 특성

별로 물리적 사용성을 평가할 수 있는 소프트웨어를 개발하기 위해 계획되었다. 현재는 인체의 각 관절에 걸리는 힘과 모멘트(moment)를 계산할 수 있는 상태까지 개발하였으며, 물리적 사용성 평가 항목과 척도들이 개발되는 대로 이러한 분석도 소프트웨어에서 지원하도록 할 것이다. 인체동작 분석을 위한 방법과 개발된 소프트웨어의 내용을 설명하면 다음과 같다.

2. 인체동작 분석방법

본 연구에서 개발한 3차원 동작분석 S/W (KRISMAS; KRIS Motion Analysis Software)는 기본적으로 인체의 3차원 좌표와 지면 반력 데이터로부터 인체의 자세와 각 관절의 모멘트를 계산해 제공한다. 본 절에서는 KRISMAS 개발 과정에서 사용한 표식(marker) 부착 인체 모델과 해석기법을 제시하고자 한다.

인간이 어떤 동작을 수행하고 있을 때 인체 관절에 요구되는 힘과 모멘트를 구하는 일반적인 절차는 다음과 같다.

- ① 표식(marker) 데이터의 측정과 처리
- ② 지면 반력의 측정
- ③ 인체분절 데이터 획득
- ④ 관절 반력 계산 알고리즘을 이용한 반력 계산

여기에서는 이러한 절차에 필요한 인체 모델의 설정 내용과 각 관절에서의 모멘트 계산 방법을 나누어 각각 설명하였다.

가. 3차원 동작분석을 위한 인체모델

3차원상의 물체는 일직선 상에 있지 않은 최소한 3개의 표식에 의하여 결정될 수 있다. 이론상으로 한 물체에 표식을 많이 부착할수록 그 물체에 대한 정보를 정확히 계산할 수 있으나 실제로는 동작 측정장비 자체의 문제, 카메라의 화상 처리 시 표식 인식문제, 표식 간의 거리 확보 문제 등으로 3~5개로 결정되는 것이 일반적이다.

그림 1은 본 연구에서 제안한 인체 표식 부착 위치 및 힘판의 위치를 보여주고 있다. 본 모델은 진공청소기를 사용할 때 각 관절에 요구되는 부하를 계산하기 위해 사용

한 표식 부착 모델이다. 여기서는 대부분의 인체 분절의 표현을 2개의 표식만을 사용했다.

원래 공간상에 독립적으로 떨어져 있는 물체의 정보는 최소한 3개의 표식을 필요로 하지만 물체들끼리 조인트(joint)로 연결되어 있는 경우는 기구학적인 구속 조건이 가해지므로 그 이하가 될 수 있음을 이용한 것이다. 이 모델은 자료의 정확성이 좀 떨어질 수 있으나 인체의 관절 위에 표식을 직접 부착하는 방법이므로 눈으로 그 운동을 직접 확인할 수 있으며 데이터 처리가 매우 간편하다는 장점이 있다. 표 1은 그 위치를 해부학적으로 나타낸 것이다.

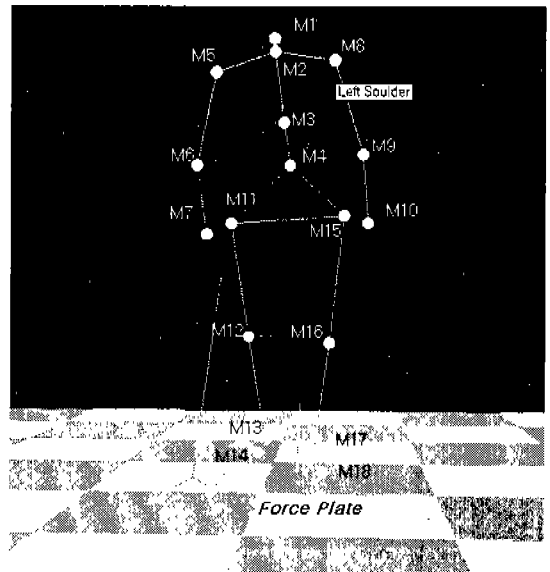


그림 1. 진공청소기 작업 평가를 위한 인체 표식 부착과 힘판의 위치

표 1. 부착된 표식의 해부학적 위치

표식	위치	표식	위치
M1	Head	M10	L. Wrist
M2	C4	M11	R. Hip
M3	T12	M12	R. Knee
M4	L5	M13	R. Ankle
M5	R. Shoulder	M14	R. Toe
M6	R. Elbow	M15	L. Hip
M7	R. Wrist	M16	L. Knee
M8	L. Shoulder	M17	L. Ankle
M9	L. Elbow	M18	L. Toe

그런데 문제는 이러한 표식들이 실제 측정 시 인체의 다른 부분에 의해 때때로 가려져 동작 측정장비가 이를 식별할 수 없는 경우가 생긴다는 것이다. 실제로 표식 M11은 진공청소기를 잡은 오른 팔이 전후로 왕복 운동할 때 자주 가려졌다. 따라서 측정되지 못한 시간에 대해서는 적절한 보간을 필요로 했다.

이 때 M11 표식만을 단순히 선형 보간하기보다는 제 1안으로 M4, M11, M15의 3차원 정보를 보간하는 방법과 제 2안으로 인체의 자세가 대부분 좌우 대칭적인 자세를 취하고 있음을 이용하여 M11, M12, M13에 의한 3차원 정보와 M15, M16, M17에 의한 정보를 평균 운동과 상대 운동으로 분해한 후 보간하는 방법을 고려했다. 본 연구에서 수행한 청소기 작업의 경우에는 2안이 훨씬 개선된 자료를 얻을 수 있었다. 인체 운동을 두개의 운동으로 분해하였을 때 물체마다 독립적으로는 발견할 수 없었던 반복적인 형태의 운동을 쉽게 발견되었는데 이 반복적인 성질을 이용하면 좌우 표식들이 동시에 가려지지 않는 한은 상당한 정확히 그 운동을 회복할 수 있을 것이다.

또한 M1 표식은 머리카락에 장시간 가려져 반력 계산에 사용되기에는 곤란하여 M2, M3, M5, M8에 강제 연결된 것으로 가정하여 선형 보간 후 시각화하는 데만 사용하였다. 발끝에 존재하는 M14, M18은 발목 관절을 고정되게 처리하여 해석을 간소화 하였다.

그림 2는 본 연구에서 인체의 3차원 정보를 추출하기 위해 설정된 물체 고정 좌표축(body fixed frame)을 보여 주고 있다. 그림에서 감쇠기(damper)표시는 가변 길이를 의미한다. 이 모델을 사용하면 강체에 근거하여 효과적으로 데이터에 존재하는 잡음(noise)의 처리 및 분실 데이터 보간을 가능하게 한다.

물체의 방향은 두개의 방향벡터 β , ρ 를 사용하여 x축, y축, z축 방향을 정할 수 있다.

$$n_x = \beta, \quad n_y = \beta \times \rho, \quad n_z = n_y \times n_x$$

이때 물체의 방향은 다음과 같은 행렬 R로 정의될 수 있다.

$$R = [n_x \ n_y \ n_z]$$

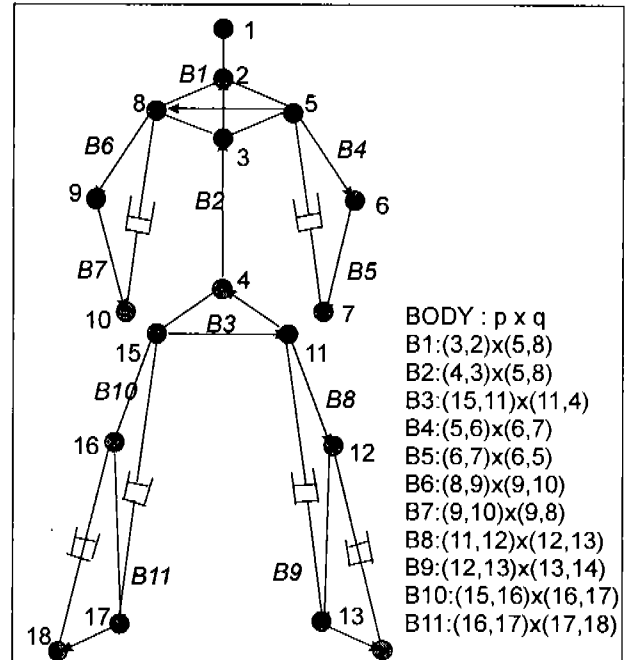


그림 2. 인체 분절(segment)의 방향 정의

마지막으로 인체 관절에 걸리는 모멘트를 계산하기 위해서는 인체 각 분절의 질량 특성을 알아야 한다. 여기에서는 생체역학적 분석에 표준자료로 널리 사용되고 있는 Winter의 자료에 근거하여 계산하였다[4].

나. 인체관절의 모멘트 계산

인체 각 관절에 걸리는 모멘트의 계산을 위해서는 인체의 각 끝에 작용하는 모든 힘과 모멘트를, 한 곳을 제외하고 모두 알고 있어야 한다. 그러나 진공청소기 작업은 양발을 하나의 힘판 위에 모두 올려 놓은 상태가 되므로, 청소기를 잡고 있는 손과 두 발목에서의 힘 정보를 모르는 반면 힘판 한 곳에서만 그 정보를 제공하므로 근본적으로 힘해석이 불가능하여 발목, 무릎 엉덩이에서의 반력을 구하는 것은 현재의 데이터만으로 부족하다.

그러나 한쪽 다리를 지면과 접촉력이 없다고 가정하면 힘판에서 측정된 값은 나머지 다른 한 쪽으로 적용되므로 부분적으로 해석 가능한 시스템이 된다. 따라서 허리와 어깨 등 상체 부분의 반력을 구할 수 있게 된다.

힘판 위에 서서 어떤 동작을 수행할 때

힘판에서는 3축 힘과 기준 위치(reference position)에 대한 3축 모멘트를 측정해 낼 수 있다. 인체 관절에 걸리는 반력을 계산하기 위해 측정된 이 6축의 힘은 발목(M13)에서의 등가 힘으로 변환되었다.

가정된 개루프(open loop) 시스템에 Euler recursive 기법을 적용하여 이미 알려진 곳(지면 반력 또는 접촉이 없는 곳)에서부터 축차적으로 그림 3과 같은 순서에 의해 반력을 계속 구해 오른손(B5)에서의 반력까지 구해 나갔다. 물체의 방향에 따라 계산된 부하는 각 관절의 성격에 맞게 해석할 필요가 있다. 예를 들어 어깨 조인트의 경우는 3축의 모멘트가 모두 근육의 영향을 받고 있으며 팔 조인트의 경우 단축의 모멘트만이 영향을 받고 있다.

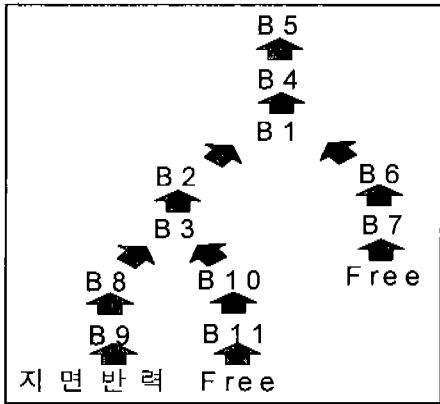


그림 3. 축차적 반력 계산을 위한 순서

2.인체동작 분석 S/W

본 연구에서 개발 중인 3차원 동작분석 S/W인 KRISMAS는 그래픽 라이브러리 Open GL을 사용하여 시각적으로 사실감 있도록 개발되었으며 Visual C++와 FORTRAN 언어를 혼용하여 각각의 장점을 살려 검증된 기존 코드(code)들을 모두 수용하여 효율적으로 개발되었다.

현재 3차원 동작 측정장비인 Vicon™과 입출력 파일을 호환할 수 있도록 했다. 기본적으로 진공청소기 작업을 위한 모델이 내장되어 있어 진공청소기 작업과 같은 표식 부착위치를 갖는 모든 작업에 적용 가능하도록 되어 있다. 그 외의 작업에 대해서도 모델을 쉽게 정의할 수 있도록 구현되어 있다.

누락(missing)된 데이터에 대한 보간을 위해서 상호작용적(interactive) 방법으로 쉽게 보간할 수 있도록 구현하였다. 또한 본 논문의 범위를 벗어나지만 다수의 표식을 이용한 강제 데이터 추출방법 및 다양한 데이터 자료 처리기법이 구현되어져 있다. 모든 결과는 이미 알려진 모델에 맞춰 컴퓨터를 통하여 생성된 자료에 적용함으로써 검증되었다.

그림 4는 3차원 동작분석 소프트웨어인 KRISMAS의 한 실행 예를 보이고 있다. 진공청소기를 사용하는 동작이 재구성되어 애니메이션이 가능하며, 동시에 각 관절의 좌표 값과 반력 등을 계산해 보여준다.

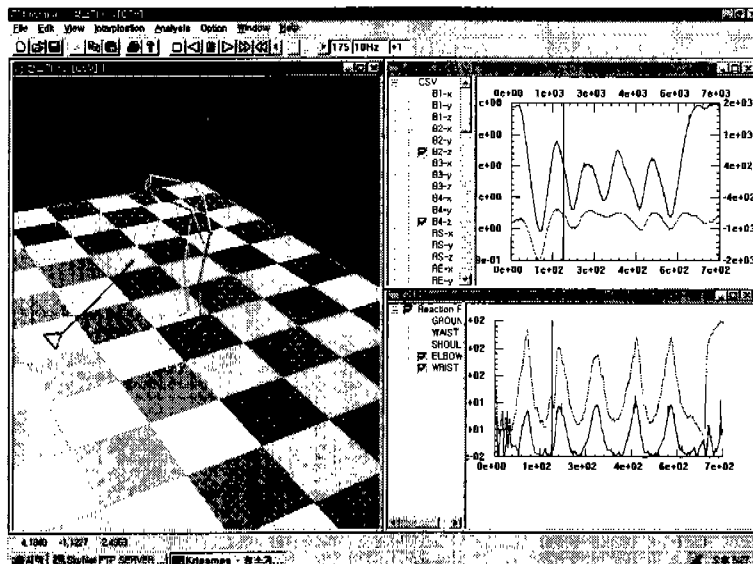


그림 4. 개발된 3차원 동작분석 S/W

결론

제품이나 환경을 인간에게 편리하고 쾌적하게 설계하기 위해서는, 생리신호 측정 평가 외에 인체의 동작반응도 고려되어야 한다. 인체 동작 반응의 객관적 평가를 위해서는 인체의 3차원 동작을 측정하고 분석하는 시스템이 필요하다. 본 연구는 이를 위해 3차원 동작측정 장치로부터 얻어진 데이터를 이용해 인체의 각 관절에 걸리는 부하를 평가하는 S/W를 개발하였다. 이를 이용하면 진공청소기, 냉장고 등의 가전제품의 평가 등에 활용할 수 있다.

본 연구에서 개발된 소프트웨어에는 앞으로 어떠한 형태의 작업이든 적용할 수 있는 일반적 분석 모형과, 표식의 좌표로부터 각 관절의 중심을 계산해 보다 정확한 계산을 하는기능 등이 추가될 것이다.

참고문헌

- [1] carlson, N.R. (1994), Physiology of behavior, Allyn and Bacon.
- [2] 박재희, 황민철, 박세진, 김명석 (1996), 냉장고 디자인의 인간공학적 평가, 디자인학 연구, vol. 14, 1-7.
- [3] 박재희 외 (1997), 진공청소기 디자인의 인간공학적 평가, KRISS-97-084-IR, 한국표준과학연구원.
- [4] Winter, D.A.. (1979), Biomechanics of human movement, John Wiley & Sons.
- [5] Cragg, J. J. (1989), Introduction to Robotics Addison-Wesley.

본 연구는 과학기술부의 G7, '감성공학기반기술개발' 과제 연구비의 지원으로 이루어졌습니다.