

3차원 동작측정 방법에 의한 인체 파악한계 측정

Measurement of grasping reach by three-dimensional motion capture

박재희* , 고봉기** , 김진호*

Jae Hee Park, Bong Kee Koh, Jin Ho Kim

*한국표준과학연구원 인간공학연구소

maro@krissol.kriss.re.kr

**한국과학기술원 산업공학과

ABSTRACT

We used a three-dimensional motion capture method to measure the grasping reach of Korean. This method was applied well to the grasping reach measurement with low measurement error and high efficiency. We measured the grasping reach of 29 males and 21 females at the different height from seat reference level: -10, 0, 30, 60, and 90cm. The grasping reach data were summarized at each 15° in polar coordinates to compare with the former researches. If the number of subjects increases in the supplement research, the grasping reach data will be used in the ergonomic design of the driver's cabin or workstations in industry.

1. 서론

파악한계(grasping reach)는 작업자가 특정한 수작업 기능을 편히 수행할 수 있는 공간의 외곽 한계로 정의된다(박경수 1992). 이는 자동차 운전석이나 작업장의 작업대 설계 등에 유용하게 사용될 수 있는 정보이다. 그러나 아직까지 국내에는 이에 대한 체계적 측정이 이루어진 예가 없다. 다만 최근 이영신 등(1995)과 기도형 등(1996.a)에 의한 인체 관절의 동작범위 측정이 이루어진 바 있으며, 기도형 등(1996.b)은 이를 이용해 3차원 공간 상에서의 동작범위를 예측하는 모형을 개발한 예가 있다.

외국의 예로는 1948년 King 등에 의한 미 해군의 파악한계를 측정한 시도를 필두로 몇 차례 있었다(NASA 1978). 대표적 예로는 미국항공우주국(NASA: National Aeronautics and Space Administration)이 남자 공군의 파악한계를 측정, 발표한 예가 있다(NASA 1978). 본 연구에서도 NASA의 측정 방법을 참조해 실험을 계획하였다. 이밖에 Bullock(1974), Nowak(1978), Li(1990) 등에 의한 측정 예가 있다. 그러나 이러한 외국의 측정치는 인종, 대상집단 차이 등으로 인해 한국인을 대상으로 하는 제품과 환경의 설계에 그대로 사용하기에는 무리가 따른다. 따라서 한국인에 대한 독자적인 파악한계의 측정과 활용이 필요하다.

파악한계를 측정하기 위한 방법은 여러 가지가 사용될 수 있다(Bullock 1974, Nowak 1978, Li 1990). 전통적인 방법으로는 NASA에서 사용한 방법으로 끝에 꼭지(knob)가 달린 막대기 여러 개를 여러 각도에서 우측 어깨를 향하게 설치한 후, 어깨를 등판에서 떼지 않고 손만을 끝까지 뻗쳐 밀어내는 방법이 있다(박경수 1992). 이러한 전통적 방법에 비해 3차원 동작측정장비를 이

용하면 인체의 파악한계를 쉽게 측정할 수 있을 것으로 저자들은 판단하였다. 이에 본 연구에서는 3차원 동작측정 장비의 하나인 Vicon 140™ 시스템을 사용하여 파악한계를 측정하였다. 이러한 측정 방법에 의한 파악한계의 측정 방법이 유용한 것으로 판명된다면 앞으로 이 방법을 사용하여 한국인의 파악한계에 대한 데이터베이스를 구축하고 이를 정적 인체측정자료(김철중 1992)와 함께 산업계 등에 보급할 예정이다.

2. 측정방법

2.1 피실험자

본 측정에는 모두 남자 29명, 여자 21명이 참여하였다. 측정 전 마틴(Martin)식 인체측정기를 이용하여 표준측정방법(KS A 7004)에 따라 파악한계와 관련이 있는 피실험자들의 몇 가지의 인체측정치를 구하였다. 이 측정치는 향후 파악한계와의 상관관계를 파악해, 파악한계를 예측하는데 사용하기 위해 미리 측정한 것이다. 측정치는 다음의 Table 1. 에 정리되어 있다.

Table 1. The anthropometric data of the subjects

구 분		연령	위팔길이	앞팔길이	어깨점-손끝 길이	앞으로 뻗은 팔길이	주먹너비
남 자 (29명)	평 균	29.47	31.47	23.25	73.90	71.30	8.85
	표준편차	40.95	5.13	2.04	13.77	14.98	0.74
여 자 (21명)	평 균	23.95	29.29	21.40	66.78	64.95	7.69
	표준편차	19.55	4.46	1.17	8.86	7.20	0.27

단위 : cm

2.2 실험 기기

본 실험에는 3차원 동작측정시스템(Vicon 140), 마틴(Martin)식 인체측정기, 수평지지 가이드(guide), 인체측정용 의자 등이 사용되었다. 3차원 동작측정시스템 Vicon 140 은 적외선에 반사되는 표식(marker)을 인체에 부착한 후, 적외선 플래시(flash)를 가진 CCD 카메라를 이용하여 이를 추적하는 장비이다. 이를 이용하면 인체의 3차원 동작에 대한 추적이 가능해진다. 본 측정에는 직경 1cm 의 구형 표식을 피실험자의 어깨, 팔꿈치, 그립(grip)의 중앙에 부착한 후 이를 4 대의 적외선 CCD 카메라를 이용하여 초당 60회 측정하였다. Vicon 140의 정적 표준 오차는 1m 길이에 대해 1.4mm 로 나타났으며, 동적 오차는 2.1 mm 로 나타나 파악한계 측정에 사용하는 데에는 크게 문제가 안되었다.

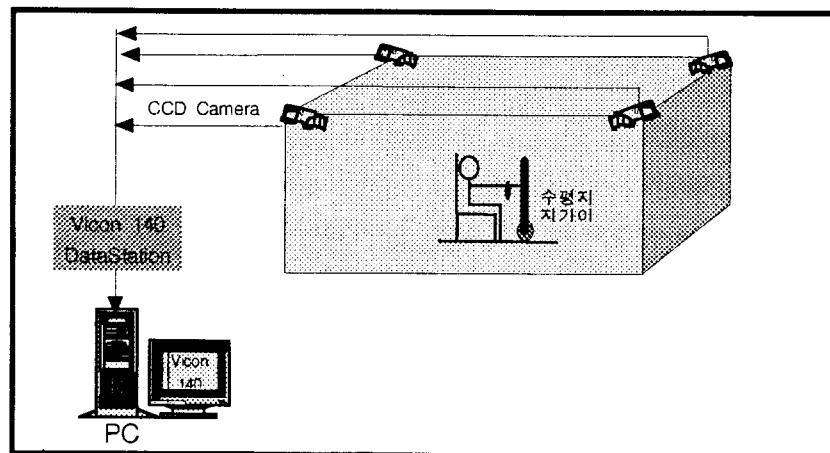


Fig. 1 The system configuration

수평지지 가이드(guide)는 본 실험을 위해 특별히 제작한 기구로, 가이드 봉(guide rod)을 지면으로부터 원하는 높이에 고정시킨 후, 그 높이에서 피실험자가 끌고 당기는 대로 수평면에서 자유로운 운동이 가능하도록 하였다. 가이드 봉과 수직축의 연결부위에는 볼베어링을 설치해 가이드 봉이 유연하게 움직이도록 배려했다. 그리고 가이드 봉의 한쪽 끝에는 직경 1.5cm, 높이 12cm 의 나무로 된 원통을 부착해 피실험자가 이 원통을 쥐도록 했다(Fig. 2 참조).

피실험자가 앉게 되는 의자의 등판기울기(backrest)는 13° 로 고정시켰으며, 좌면의 각도(seat-pan angle)는 상방 6° 에서 고정시켜 NASA에서 수행한 실험과 동일한 실험조건을 주었다(NASA 1978). 의자에는 벨트가 부착되어 있어 피실험자의 자세를 제한할 수 있게 되어 있다.

2.3 실험 절차

실험 전 마틴(Martin)식 인체측정기를 이용하여 피실험자의 위팔길이, 앞팔길이 등 기본적인 인체측정치를 측정하였다. 그 후 피실험자를 Fig 2. 와 같이 의자에 앉힌 상태에서 등이 의자의 등판에서 떨어지지 않도록 벨트를 이용해 영문 엑스(X)자 형태로 고정시켰다. 자세가 고정된 피실험자에게 가이드 봉의 한쪽 끝의 원통을 오른손으로 쥐게 하고 팔을 앞으로 완전히 뻗은 상태에서 몸의 중심에서 바깥 방향으로 가능한 한 수평을 유지하면서 최대범위까지 뻗은 후, 다시 반대방향으로 최대범위까지 뻗도록 하였다. 이때 피실험자의 어깨, 팔꿈치, 그립(grip)의 중심에 표식을 붙여 그 운동을 측정하였다.

본 실험에 앞서 실험 요령에 대한 설명과 피실험자 당 2회의 연습을 실시하였으며, 실험은 의자 기준(SRL; Seat Reference Level) 점으로부터 -10, 0, 30, 60, 90cm 높이의 5구간으로 나누어서 실시하였다. 기준점(SRL)으로부터 0cm와 -10cm 높이에서의 파악한계는 피실험자의 하반신으로 인해 동작 진행이 불가능하여 피실험자의 우측 범위만이 측정되었다. 측정 장면의 한 예가 Fig. 2 에 나와 있다. Fig. 3 에는 Vicon 140™ 시스템에 의해 측정된 그립(Grip), 팔꿈치, 어깨의 3차원 궤적이 나타나 있다.



Fig. 2 Feature of experiment

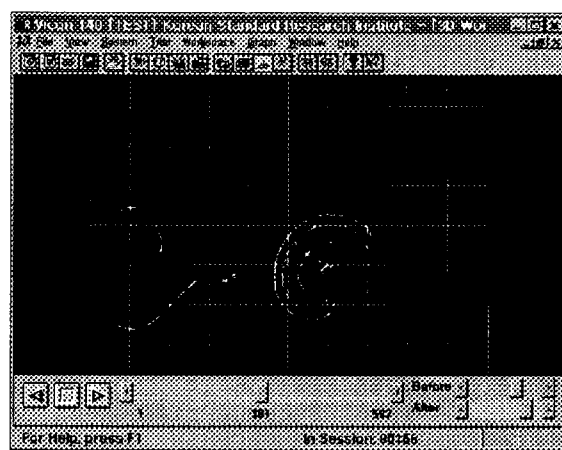


Fig. 3 Vicon 140™ 3D feature

3. 측정결과

피실험자에게 붙여진 어깨, 팔꿈치, 그립(grip) 3개 표식(marker)의 3차원 좌표는 60Hz의 샘플링 속도로 ASCII 형식의 파일로 저장되는데, 이 가운데 그립의 좌표 값만을 의자기준점(SRL)을 원점으로 하는 좌표계로 보정한 후, 이를 다시 극좌표(polar coordinates)로 변환하였다. 극좌표를 통해 최대각부터 최소각까지 피실험자의 동작범위를 한정하여 파악한계를 구하였다. 그 후 연속 데이터 가운데 15° 마다 피실험자의 파악한계의 평균과 표준편차를 구하여 이를 표로 만들고(Table 2 참조), 피실험자를 남녀로 구분하여 50%의 값을 그래프로 나타내었다(Fig. 4, 5 참조).

Table 2. Grasping reach of male and female

단위(mm)

angle	Man					Woman				
	90cm	60cm	30cm	0cm	-10cm	90cm	60cm	30cm	0cm	-10cm
165										
150	191.5± 2.8									
135	244.0±53.4	280.1±37.1				197.1±	284.6±			
120	277.7±49.0	309.1±47.7				246.5±23.1	297.4±27.8			
105	295.6±47.4	361.0±60.1	380.3±67.6			274.1±21.7	354.2±40.8	360.1±54.5		
90	312.0±56.5	404.3±61.6	377.1±58.3			286.4±40.9	391.8±46.8	409.1±40.3		
75	333.0±58.9	444.6±60.9	414.5±60.4			297.3±46.9	429.7±48.2	439.3±48.3		
60	352.6±53.7	477.5±56.3	454.1±48.0			306.5±47.8	462.3±45.3	474.5±49.4		
45	372.9±51.7	506.5±47.3	486.0±43.9			304.7±51.8	479.5±41.3	495.5±46.1		
30	389.6±45.8	527.6±40.8	514.2±35.1			298.0±62.0	483.1±38.3	500.3±40.9		
15	400.1±47.7	538.0±35.6	529.2±28.2			292.4±70.8	477.2±43.5	496.8±42.4		
0	404.7±54.9	545.0±35.4	538.2±26.9			290.9±76.3	477.8±47.9	495.1±45.6		
-15	414.6±55.9	555.2±38.2	555.7±29.2	432.1±		294.7±82.8	490.2±50.3	508.9±51.8		
-30	434.7±56.6	576.9±39.8	580.8±32.2	484.5±42.7	412.9±64.1	307.2±88.8	509.7±51.0	535.4±56.8	431.9±48.8	
-45	461.6±54.3	606.6±40.5	606.7±35.4	506.6±37.3	434.6±43.1	321.6±90.1	534.8±46.4	559.9±51.8	448.3±56.8	386.6±42.7
-60	495.9±54.3	642.3±41.6	636.5±39.0	529.6±37.8	455.4±39.9	340.8±90.5	562.4±45.35	588.9±57.5	466.4±68.3	399.6±58.5
-75	536.5±60.2	681.1±41.7	669.9±36.9	552.7±40.5	479.7±41.7	372.1±90.6	596.0±46.8	617.3±49.4	488.7±71.8	418.1±64.7
-90	582.5±59.4	719.4±39.1	699.2±34.1	572.9±41.7	499.9±47.6	404.1±87.7	628.2±46.6	644.0±47.8	513.1±73.8	442.5±68.9
-105	628.3±52.2	749.2±37.9	722.3±31.1	594.9±42.9	519.6±50.4	447.5±81.3	657.2±44.8	669.4±44.1	538.5±67.3	469.2±64.7
-120	658.0±52.1	770.0±38.1	739.0±31.7	605.4±39.8	547.8±60.2	489.9±74.0	686.3±41.4	666.6±39.8	553.5±51.4	478.4±59.8
-135	717.1±17.1	783.1±49.3	740.2±39.1	624.6±52.2	366.1±	500.8±76.3	725.7±59.5	704.7±38.0	572.2±44.8	500.7±39.9
-150										
-165										
-180										

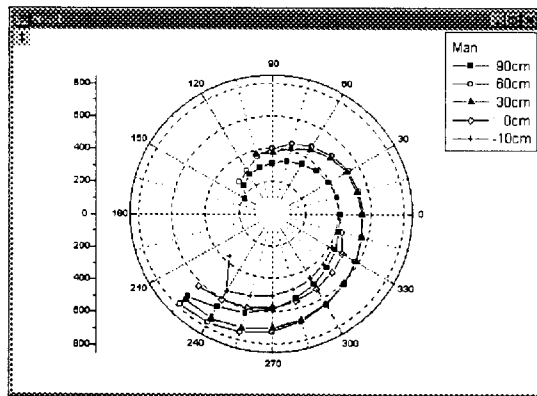


Fig. 4 Grasping reach of man

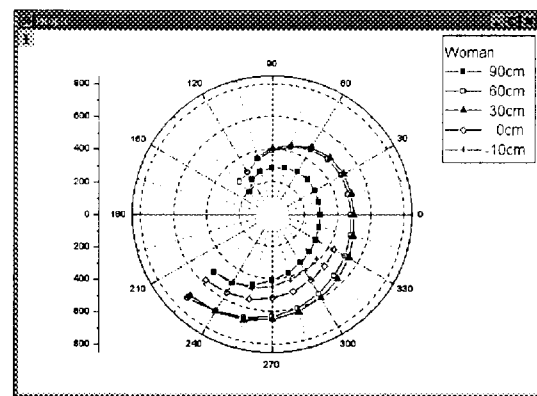


Fig. 5 Grasping reach of woman

단위(mm)

4. 토의 및 결론

본 연구의 일차적 목적의 하나는 3차원 동작분석장치를 이용한 파악한계 측정의 가능성을 알아보는 것이었다. 이런 관점에서 3차원동작측정 장비의 동적 표준오차 2.1 mm는 매우 작은 값으로 파악한계 측정에 문제가 없을 것으로 판단되었다. 특히 이 방법은 연속된 동작에 대한 측정이 가능하다는 점과 비접촉식 측정이 가능하다는 점에서 기존의 붐을 밀어내는 제한된 방법에 비해 그 유용성을 인정받을 수 있을 것이다.

이번 실험의 후속 연구에서 몇 가지 보완해야 할 사항으로는 다음과 같은 것들이 있다. 우선 가이드 붐 자체가 피실험자로부터 전해지는 힘과 자체 무게로 인해 수직방향 진동의 표준편차의 평균은 14.0 mm 크기로 나타났다. 본 연구에서는 이 오차의 크기가 작아 무시하고 분석을 수행하였는데 수평면의 지지를 더욱 확실하게 할 수 있는 방법에 대한 대책이 필요할 것이다. 또한 가이드 붐 끝에 설치된 원통 자체도 몸통으로부터 멀어질수록 어느 정도 회전이 나타났는데 이에 대한 대책 역시 필요할 것이다.

둘째, 본 실험에 참여하였던 피실험자의 수가 아직 충분치 못했다. 과악한계 측정치의 일반화를 위해 더 많은 수의 피실험자를 상대로 추가 실험을 할 계획을 가지고 있다. 또한 측정 높이도 5 구간으로 제한되었는데 이에 대해 측정 구간을 더 세분화한 실험을 고려 중이다.

셋째, 과악한계를 비롯해 기능적 인체측정치는 응용목적에 따라 다양한 자료를 필요로 한다. 따라서 본 연구에서 얻어진 자료를 바탕으로 응용 목적 별로 자료를 변환시켜 줄 수 있는 모형의 개발 등이 필수적으로 요구된다. 따라서 이러한 부분의 연구도 함께 진행시킬 예정이다.

참고문헌

- [1] 기도형 (1996.a), 작업영역의 해석적 생성을 위한 2자유도 동작의 동작범위 측정, *대한인간공학회지*, 15(2), 15-24.
- [2] 기도형 등 (1996.b), Reach volume 의 측정과 로봇트 기구학을 이용한 해석적 생성의 비교, *1996 대한인간공학회 춘계학술대회 학술논문집*, 232-237.
- [3] 김철중 등 (1992), 산업제품 표준치 설정을 위한 국민표준체위 조사 보고서, KRISS-92-144-IR, 한국표준과학연구원.
- [4] 박경수 1992, *인간공학*, 영지문화사.
- [5] 이영신 등 (1995), 한국인 20 대 청년의 팔 관절 동작범위 측정 연구, *1995 대한인간공학회 춘계학술대회 학술논문집*, 62-71.
- [6] Bullock, M.I.(1974), The determination of functional arm reach envelopes for young Chinese males, *Ergonomics*, 17(3),375-388.
- [7] Li, S., and Xi, Z. (1990), The measurement of the spatial reach area of the arms for workplace , *Ergonomics*, 33(7), 967-978.
- [8] NASA (1978), *Anthropometric source book, Vol I: Anthropometry for designers*, NASA reference publication 1024 N79-11734.
- [9] Woodson, W.E., Tillman, B. and Tillman, P. (1992), *Human factors design handbook (2nd Ed.)*, McGraw-Hill.
- [10] Nowak, E.(1978), Determination of the spatial reach area of the arms for workplace design purposes, *Ergonomics*, 21(7), 493-507.