

Reach Volume 의 측정과 로봇트 기구학을 이용한 해석적 생성의 비교

기도형*, 신용탁**, 강동석**, 정의승**

* 계명대학교 산업공학과

** 포항공과대학교 산업공학과

Abstract

When designing workplaces or arranging controls on panel, devices and controls should be placed within the reach of operator's arm or foot to guarantee effective performances. Most of the existing research on the reach volume were based on measurements of a few subject's arm reach, and limited to Caucasian and Chinese populations, and foot reach and trunk motion have been excluded. Range of human joint motion and that of two degrees of freedom motion are needed to generate reach volume analytically using the sweeping algorithm. Therefore, in this research, range of two degrees of freedom motion was measured, in which 47 college students were participated voluntarily as subjects. Second, new approximate algorithms generating reach volumes were suggested based on the robot kinematics, in which range of two degrees of freedom motion was considered. Our analytically generated reach volume showed statistically reasonable results when compared with that obtained from direct measurement.

1. 서 론

reach volume 은 팔, 다리 등의 인체의 지체로 닿을 수 있는 공간을 의미하며, 2 차원에서는 reach envelope 라고 하고 있다. 이러한 reach volume 은 작업장의 설계나 기기의 배치 등을 설계할 때에 긴요하게 사용되는 기본적인 인간공학적인 자료이다. 현재까지 발표되어 있는 reach volume 에 대한 자료는 대부분 직접 피실험자를 대상으로 한 측정에 의한 것이다 [5,8]. 이러한 측정은 다양한 인종과 계층에 대하여 측정하여야 하고, 측정에는 많은 시간과 비용이 소요되어 reach volume 에 대한 자료가 다양하게 발표되어 있지 못한 실정이다. 대부분의 측정 자료가 미국을 중심으로 한 서양인의 것이며, 동양인에 대한 자료는 Li et al.이 측정한 중국인 남자 청년에 대한 것이 유일하다 [3,4,6,7]. 한국인에 대한 reach volume 에 대한 자료는 전혀 측정, 연구되어 있지 않으며, 20 대 전후의 남자 대학생에 대한 하지와 팔 관절의 동작범위의 측정에 연구가 고작인 실정이다 [1,2].

따라서 본 연구에서는 직접 측정이 아닌 로봇트 기구학으로 인체를 표현한 다음, sweeping algorithm 을 이용하여 해석적으로 reach volume 을 생성하는 알고리즘을 제시한다. 이러한 algorithm 은 인체의 길이에 대한 치수만 입력되면, 인체 관절의 동작범위(range of motion)에 기초하여 지체를 회전하여 reach volume 을 생성한다. 본 연구에서는 인체를 몇 개의 link 로 연결된 multi-link 시스템으로 가정하며, 이들의 공간적 관계를 표현하기 위하여

로봇 기구학을 이용하였다. 일반적으로 reach volume 은 포함된 인체 부위에 따라 3 종류의 reach volume 로 나누어지나, 본 연구에서는 팔의 움직임으로 파악할 수 있는 reach volume 을 제시하며, 제시된 reach volume 과 기존에 발표되어 있는 측정에 의한 reach volume 을 비교하고자 한다.

2. 2 자유도 동작의 동작범위

reach volume 을 sweeping algorithm 을 이용하여 해석적으로 생성할 때에는, 회전의 기준이 되는 신체 부위의 관절에서 2 자유도 동작이 일어나므로, 본 연구에서는 이에 대한 측정을하고자 한다. 팔의 운동 기준이 되는 어깨의 내.외전에 따른 굴곡의 2 자유도 동작의 동작범위를 측정한다.

2.1 측정결과

47 명의 건강한 20 대 전후의 남자 대학생이 2 자유도 동작의 동작범위 측정 실험에 참여하였으며, 피실험자들의 연령은 평균 23.0 세, 신장은 평균 171.7cm, 그리고 체중은 평균 62.5kg 을 보였다.

어깨의 2 자유도 동작의 동작범위에 대한 측정결과는 다음 표 1 에 정리되어 있다. 본 연구에서 측정한 어깨에서의 독립변수인 내.외전이 0° 일 때를 중립자세(neutral position)라 할 때, 표에서 보는 바와 같이 중립자세에서 벗어남에 따라 측정 변수인 어깨의 굴곡 각도가 감소함을 보이고 있다. 어깨에서 60° 까지의 외전이 일어남에 따라 굴곡 각도가 감소하다가, 여기에서 90° 까지는 증가 추세를 보이다가 다시 90° 이후의 외전이 일어나면 다시 감소하는 경향을 보이고 있다.

표 1. 2 자유도 동작의 동작범위

어깨 굴곡	내전 ←			→ 외전		
	20°	0°	30°	60°	90°	최대
	173.4°	194.2°	172.0°	160.1°	171.5°	118.4°

2.2 회귀분석

2 자유도 동작에서 독립변수로 선정한 어깨의 내.외전이 어깨의 굴곡 각도에 미치는 영향의 정도를 알아보기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석 결과는 표 2 에 정리되어 있으며, 표에서 보는 바와 같이 모든 회귀식이 유의수준 1%에서 통계적으로 유의함을 보이고 있다.

표 2. 2 자유도 동작의 회귀분석

동원 관절	회 귀 식		회귀식의 p value	R ² (%)
어깨	20° 내전 - 0°	어깨굴곡=195-1.0*어깨내전	0.000	60.0
	0° - 90° 외전	어깨굴곡=164+0.009*(어깨외전-60) ²	0.000	61.0
	90° - 외전한계	어깨굴곡=211-0.67*어깨외전	0.000	78.0

3. reach volume

서론에서 언급한 바와 같이 이 등[2]의 팔 관절의 동작범위와 위에서 제시한 회귀식을 이용하여 2 자유도 동작의 영향을 고려한 팔로 파악할 수 있는 reach volume 을 제시하고자 한다.

3.1 인체의 모형화

인체는 수백의 자유도(degree of freedom)를 가지고 있어 다양한 자세를 표현할 수 있으나, 이를 해석적으로 다루기는 매우 어렵다. 본 연구에서는 인체를 몇 개의 link 로 연결된 multi-link 시스템으로 간주하여 단순화하고자 한다. 팔은 상완(upper arm), 전완(lower arm)과 손 등의 3 개의 link 로 구성된 multi-link 시스템으로 가정하며, 동작의 자유도는 어깨 관절의 굴곡, 내.외전, 내선과 외선, 팔꿈치의 굴곡, 그리고 손목의 굴곡 등의 5 개의 자유도를 가진다. 팔의 모든 관절은 revolute joint 로 가정한다.

3.2 reach volume

reach volume 은 어깨 관절을 내전, 외전시켜 가면서 어깨의 굴곡과 신전을 동작범위 한계까지 하여 생성한다. 생성 과정은 먼저 팔을 위로 곧게 뻗은 상태에서 팔꿈치를 최대한 몸통 뒷쪽으로 굴곡하고, 다시 팔을 수직 상방으로 바르게 뻗은 상태에서 팔을 어깨를 회전점으로 하여 최대한 굴곡,신전한다. 이 과정을 어깨의 외전 한계까지 5°씩 외전시켜 가면서 반복한다. 여기서도 어깨의 내.외전에 따른 어깨의 굴곡 각은 표 2 에서 제시한 회귀식에 의해 계산된다. 이상의 알고리즘은 다음과 같으며, C 프로그램과 AutoCAD 을 이용하여 자동차 운전공간에 reach volume 을 나타낸 것은 다음 그림 1 에 나와 있다.

```

Step 1 Initialize posture
      ; shoulder flexion = 105°
      shoulder rotation = 90°
      shoulder adduction = 104.9° (75.1° for left body)
      elbow flexion = 0°
      wrist flexion = 0°
    
```

Step 2 Flex elbow joint backward until angle of elbow flexion reaches limit of range of elbow

- joint
- Step 3 Flex shoulder joint forward until angle of shoulder flexion reaches limit of range of shoulder joint
- Step 4 If shoulder abduction \leq limit of range of shoulder abduction
 then shoulder flexion = 105°
 shoulder abduction = shoulder abduction + 5°
 (shoulder abduction = shoulder abduction - 5° for left body)
 and goto step 2
- Step 5 End

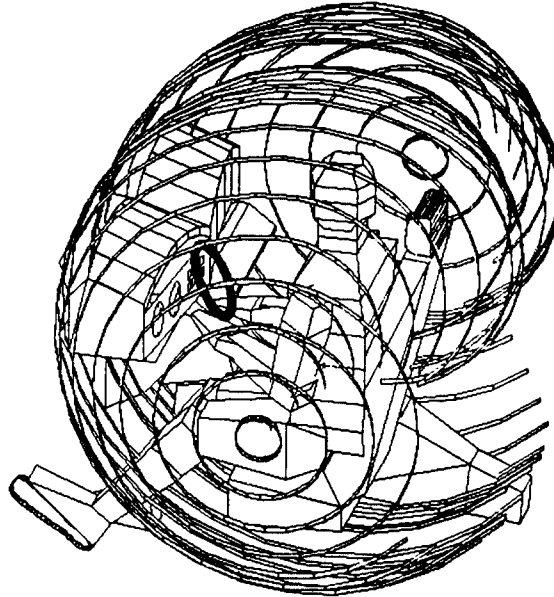


그림 1. reach volume

3.5 reach volume 의 검증

직접 측정이 아닌 로봇트 기구화로 인체를 표현한 다음, 컴퓨터 프로그램을 통하여 해석적으로 생성된 reach volume 을 실제 측정한 reach volume 과 비교하고자 한다. 서론에서 살펴본 바와 같이 현재까지 팔에 관한 reach volume 만 측정, 발표되어 있다. 본 연구에서 제시한 reach volume 을 Woodson et al.[9]이 제시한 reach volume 과 비교한다. Woodson et al.이 제시한 자료는 다음 그림 2와 같이 의자에 앉은 운용자의 SRL(seat reference level)에서부터 위로 5"씩 증가하여 45" 높이까지의 수평 단면에 대한 reach envelope 를 제시하고 있다. 이 중 어깨 높이인 25"와 어깨 아래의 15"의 두 지점의 reach envelope 를 본 연구에서 제시한 reach volume 과 비교하였다. 두 reach volume 이 공통으로 제시한 부분도 있고, 어느 한쪽 reach volume 에서만 제시하는 부분도 있으나, 본 연구에서는 공통으로 제시된 부분을 비교한다.

비교 대상은 높이는 같으므로 몸통 전면으로 나오는 x 축 값과 몸의 오른쪽에서 왼쪽으로 향하는 y 축값이 되며 (그림 2), 두 reach volume 의 좌표값들의 쌍체비교(pairwise T-test) 결과는 다음 표 3 에 나와 있다. 표에서 보는 바와 같이 x 축값은 유의수준 5%에서 차이를 보이고 있지 않으나, y 축값은 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있다. 그러나 y 축값의 차이를 보면 -0.795cm 에 불과하여, 통계적으로는 차이를 보이나 실제 차이는 매우 작음을 알 수 있다.

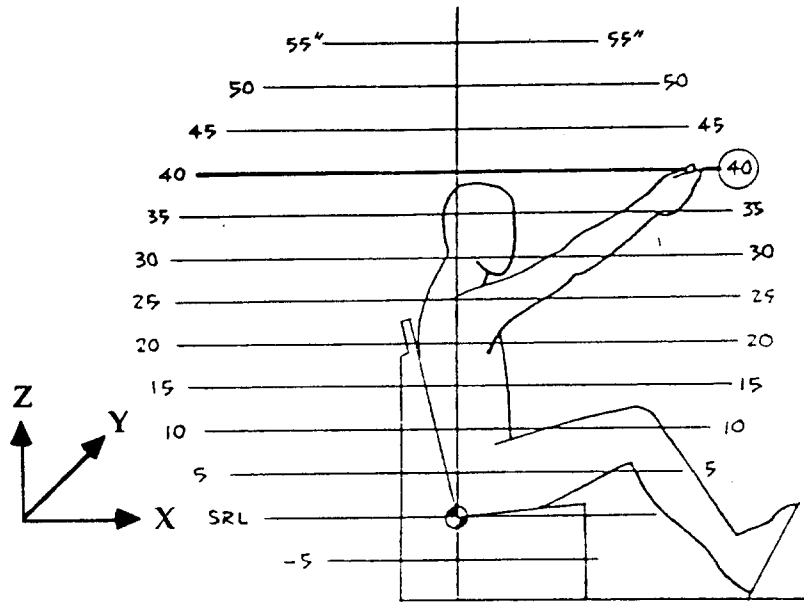


그림 2. Woodson et al.의 reach volume 제시 단면

표 3. Woodson et al.과 본 연구의 reach volume 의 쌍체비교

	N	Mean	Std. Dev.	T value	P value
x 축값의 차이	19	1.879	4.350	1.88	0.076
y 축값의 차이	19	-0.795	1.153	-3.01	0.0076

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 직접 측정이 아닌 로봇 기구화로 인체를 표현하여 해석적으로 손쉽게 reach volume 을 생성할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 직접 측정에는 많은 비용과 시간이 수반되나, 제시한 알고리즘을 이용하여 운용자 개인 혹은 집단의 인체측정 자료만 입력하면 컴퓨터 프로그램을 통하여 빠른 시간 안에 reach volume 을 구할 수 있다. 전술한 바와 같이 본 연구에서 제시한 알고리즘으로 생성한 reach volume 은 실제 측정한 reach volume 과

큰 차이가 없는 것으로 나타나, 그 효용성을 더욱 높였다 할 수 있다. 또한 측정을 통하여 제시한 연구 결과에는 몸통을 포함한 상지의 reach volume 과 다리의 reach volume 은 현재까지 포함되어 있지 않다. 반면에 본 연구의 해석적 알고리즘을 이용하면, 이러한 인체 부위의 reach volume 도 지체의 길이만 입력하면 구할 수 있는 장점이 있다.

참 고 문 헌

- [1] 기도형, “한국 대학생의 가상 hip 관절과 하지관절의 동작범위 측정”, 대한인간공학회지, in review, 1996.
- [2] 이영신, 이석기, 박세진, 김철중, “한국인 20 대 청년의 팔 관절 동작범위 측정 연구”, 대한인간공학회 춘계학술발표대회, 1995, pp. 62-71.
- [3] Bullock, M.I., “The determination of functional arm reach boundaries for operation of manual controls”, Ergonomics, Vol.17(3), 1974, pp. 375-388.
- [4] Kennedy, K.W., Reach capability of the USAF population, AMRL-TDR-64-59, Wright-Patterson Air Force Base, AD608-269, 1964.
- [5] Kroemer, K., Kroemer, H., and Kroemer-Elbert, K., Ergonomics : How to design for ease & efficiency, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994.
- [6] Li, S., and Xi, Z., “The measurement of functional arm reach envelopes for young Chinese males”, Ergonomics, Vol.33(7), 1990, pp. 967-978.
- [7] Nowak, E., “Determination of the spatial reach area of the arms for workplace design purposes”, Ergonomics, Vol.21(7), 1978, pp. 493-507.
- [8] Webb Associates, Anthropometric Source Book, Vol. I, Ch. Vi, NASA Ref. 1024, National Aeronautics and Space Administration, 1978.
- [9] Woodson, W.E., Tillman, B., and Tillman, P., Human factors design handbook, 2nd ed. McGraw-Hill, Inc., New York, 1992.