

작업영역의 해석적 생성을 위한 2자유도 동작의 동작범위 측정

Measurement on Range of Two Degrees of Freedom Motion for Analytic Generation of Workspace

기 도 형*

ABSTRACT

To generate workspace analytically using the robot kinematics, data on range of human joints motion, especially range of two degrees of freedom motion, are needed. However, these data have not been investigated up to now. Therefore, in this research, we are to investigate an interaction effect of motions with two degrees of freedom occurred simultaneously at the shoulder, virtual hip(L5/S1) and hip joints, respectively, for 47 young male students. When motion with two degrees of freedom occurred at a joint such as shoulder, virtual hip and hip joints, it was found from the results of ANOVA that the action of a degree of freedom motion may either decrease or increase the effective functioning of the other degree of freedom motion. In other words, the shoulder flexion was decreased as the shoulder was adducted or abducted to 60° or abducted from 90° to maximum degree of abduction, while the shoulder flexion increased as the joint was abducted from 60° to 90°. The flexion was decreased as the virtual hip was bent laterally at the virtual hip joint, and also did as the hip was adducted or abducted from the neutral position.

It is expected that workspace can be generated more precisely based the data on the range of two degrees of joint motion measured in this study.

* 계명대학교 산업공학과

I. 서 론

현재까지 관절의 동작범위에 대한 연구는 미국을 중심으로 외국에서 주로 직접적인 측정에 의한 1자유도(degree of freedom) 동작의 동작범위 측정에 집중되어 왔다. 이러한 1자유도 동작의 동작범위 측정에 대한 연구는 이[4]등에 의하여 정리되어 있으며, 2개 이상의 동작이 동시에 일어날 때의 상호 영향에 대한 연구로는 Laubach와 McConville에 의한 것이 유일하게 발표되어 있다. Laubach와 McConville은 어깨의 신전(extension)과 팔꿈치 굴곡(flexion), 무릎의 굴곡과 hip 굴곡, 무릎굴곡과 발목의 신전(plantar flexion)과 굴곡(dorsi flexion) 등의 two-joint muscle 동작의 동작범위를 측정하여, 각각의 동작이 서로 많은 영향을 미침을 밝혔다 [8]. 예를 들어, 팔꿈치가 최대 굴곡된 상태에서 어깨 신전(extension)은 약간 증가한 반면에, 어깨의 굴곡은 팔꿈치의 굴곡이 증가함에 따라 감소 추세를 나타냄을 보였다. 실제 인간이 작업을 수행할 때나 동작을 할 때에는 2개 이상의 자유도(degree of freedom)를 가지는 동작이 동시에 일어나는 경우가 대부분이므로, 이에 대한 자료가 요구되며, 관절 동작범위에 대한 자료를 실제 상황에 적용할 때는 이러한 자료가 사용되어야 할 것으로 생각된다. 여기서 자유도라 함은 관절에서 회전축을 의미하며, 어깨 관절에서 굴곡과 신전은 같은 자유도를 가지는 동작이 되고 굴곡과 내·외전은 각각 하나의 자유도를 가지는 동작이 된다. 또한 2개의 자유도 동작이 동시에 일어날 때의(이하 '2자유도 동작'이라 함) 관절 동작범위는 sweeping algorithm을 이용하여 작업영역을 해석적으로 생성

할 때에도 기본 자료로 사용된다. 기[1]는 작업영역을 해석적으로 생성할 때, 포함된 인체 부위에 따라 3종류의 작업영역을 분류, 제시하였다. 즉, 몸통과 팔로 파악할 수 있는 Type I 작업영역, 팔로만 파악되는 Type II 작업영역, 그리고 다리와 발로 파악되는 Type III 작업영역 등을 로봇 기구학을 이용하여 인체를 multi-link system으로 모델링(modeling)하여 sweeping algorithm으로 생성, 제시하였다. 팔로 파악할 수 있는 Type II 작업영역을 예로 들면, 어깨의 내·외전에 따라 어깨를 굴곡(여기서는 sweeping의 의미임)시켜가며 작업영역을 생성하게 된다. 현재까지는 어깨의 내·외전에 따른 굴곡의 영향에 대한 연구가 없어, 서로 독립적으로 측정된 동작범위를 입력 자료로 사용하고 있다. 그러나 실제 어깨의 동작을 관찰하여 보면, 어깨가 내전 혹은 외전되어감에 따라 굴곡의 범위가 줄어들고 있음을 알 수 있다. 따라서 좀 더 정확한 작업영역의 생성을 위하여 하나의 동작 기준점에서 2자유도 동작이 일어날 때의 영향의 파악이 우선되어야 한다. 몸통과 팔 혹은 다리로 파악할 수 있는 작업영역의 경우도 가상 hip 관절에서의 lateral bending에 따른 굴곡, hip 관절에서의 내·외전에 따른 굴곡의 영향이 연구되어야만 정확한 작업영역의 생성을 기대할 수 있다. 이러한 연구의 미비로 인하여 해석적으로 생성된 작업영역이 실제 작업자가 취하는 reach volume 혹은 envelope과 차이를 보이고 있다 [1]. 그리고, 현재까지 대부분의 reach envelope에 대한 연구는 미국인과 중국인에 대해 직접 측정에 의한 자료를 제시하고 있으며, 다음 표1과 같은 형태로 여러 개의 수평 단면으로 나누어 이 단면들에서 닿을 수

II. 측정 방법

2.1 피실험자

본 연구에서는 47명의 건강한 20대 전후의 남자 대학생을 대상으로 한 관절에서 2자유도 동작이 일어날 때의 관절 동작범위를 측정하였다. 47명의 피실험자에 대한 인체측정 자료는 前 연구와 같다 [2].

2.2 측정항목

前 연구와 같이 측정된 관절 동작범위와 인체측정 치수와의 관련성을 파악하기 위하여 체중과 신장을 측정하였다. 또한 체형의 영향을 알아보기 위하여 측정된 피실험자의 신장과 체중을 이용하여 신체 충실도를 나타내는 Rohrer와 Livi 지수[3]를 계산하였다. 본 연구의 대상이 되는 2자유도 동작의 동작범위로는 어깨의 내·외전이 일어날 때의 굴곡, 가상 hip 관절의 lateral bending 시의 굴곡, 그리고 hip 관절의 내·외전 동작에 따른 굴곡의 동작범위를 포함한다. hip 관절에 대해서는 무릎 관절을 90° 굴곡시켰을 때와 대퇴(thigh)와 종아리(shank)가 일직선이 되게 다리를 뻗친 상

태(무릎 굴곡 : 0°)에서 각각 동작범위를 측정하였다. 여기서 2 자유도 동작이 일어나는 경우의 3개 관절의 4개 상태에 대해서 측정한 이유는, 서론에서 언급한 상지(upper limb)와 하지(lower limb)의 3종류의 작업영역 생성에 이러한 자료가 중요하게 사용되며, 이러한 자료의 미비로 인하여 해석적으로 작업영역을 생성할 때 큰 오차가 수반되기 때문이다 [1]. 측정항목은 표 2에 정리되어 있으며, 2자유도 동작의 경우 가상 hip 관절의 lateral bending, 어깨와 hip 관절의 내전-외전이 표 2에 주어진 수준대로 동작이 일어날 때 각각의 굴곡 각도를 측정하였다.

2.3 측정방법

피실험자는 몸의 유연성을 높이기 위하여 측정 전에 Ergometer, Treadmill을 이용하여 5분 이상 운동을 한 후 측정에 임하였으며, 실내 온도는 20°C 이상을 유지하도록 하였다. 前 연구에서 피실험자에게 부착한 위치와 같게 가상 hip 관절과 hip 관절의 측정 기준점에 랜드마크를 부착하였으며, 어깨 관절의 측정 기준점은 굴곡과 내·외전 공히 어깨점과 팔꿈치바깥점으로 하

표 2. 2자유도 동작의 관절 동작범위의 측정항목

		측 정 항 목	
		측정변수	독립변수
2자유도 동작	어깨 관절	굴곡	내전 (0° , 20°) 외전 (30° , 60° , 90° , 최대*)
	가상 hip 관절	굴곡	lateral bending (15° , 30° , 최대*)
	hip 관절 (무릎 : 90° 굴곡)	굴곡	내전 (0° , 10° , 최대*) 외전 (20° , 40° , 최대*)
	hip 관절 (무릎 : 0° 굴곡)	굴곡	내전 (0° , 10° , 최대*) 외전 (20° , 40° , 최대*)

* 최대 : 주어진 동작에 대한 피실험자의 동작 범위 한계를 의미함.

였다. 랜드마크를 부착한 후 체중을 측정하고, 신장을 마틴(Martin)식 측정기를 이용하여 KSA 7004를 따라 측정하였다. 그리고 어깨관절, 가상 hip 관절, hip 관절의 순서로 2자유도 동작에 대한 동작범위를 피 실험자가 팬티만 입고 팔걸이가 없는 등받이가 90°인 의자에 앉은 상태에서 측정하였다. 2자유도 동작의 관절 동작범위에 대한 측정방법은 다음 그림 1과 표 3에 나와 있다. 어깨 관절의 2자유도 동작은 어깨의 내·외전을 표 2에 나와 있는 각 수준대로 고정시켜 두고, 어깨의 내전-외전 동작에 따른 최대 굴곡의 각도를 측정하였다. 어깨 관절에서 내전 동작을 최대범위까지 하면, 몸통과 머리에 가려 완전한 어깨의 굴곡 동작을 할 수 없으므로 제외하고, 내전은 20°에 대해서만 굴곡 각도를 측정하였다. 가상 hip 관절에서는 몸통을 표 2의 수준대로 몸통의 측면으로 구부린 상태에서, 최대 몸통을 굴곡시킬 수 있는 각을 측정하였다. 마찬가지로 hip 관절에서도 표 2에 나와 있는 수준대로 내전 혹은 외전시킨 상태에서의 hip 관절의 최대 굴곡 각도를 측정하였다. hip 관절에서는 무릎을 편 상태와 90° 구부린 상태에서 각각 최대 굴곡 각을 측정하였다. 이상의 4자세에서의 2자유도를 측정함에 있어, 어깨에서의 내·외전, 가상 hip 관절에서의 lateral bending, hip 관절에서의 내·외전 등의 독립변수의 수준은 이[4]등의 결과와 본 연구의 前 연구에서 얻은 측정결과에 기초하여 결정하였다. 여기서 측정기기로는 digital goniometer(Lafayette Instrument Co.)를 사용하였으며, 2자유도 동작을 할 때의 2 관절-어깨,, hip 관절- 에서 일어나는 각 자유도 동작 -내·외전, 굴곡- 은 NASA 1024의 정의와 측정 방법을 따랐다. 어깨 관절에서 2자유도 동작은 어깨점과 팔꿈치바깥 점을 연결하는 선이 최대 굴곡된 각을

측정하며, 가상 hip 관절의 2자유도 동작범위는 L5/S1을 중심으로 일어나는 동작을 장골능선점과 어깨점을 연결하는 축을 기준으로 몸통이 앞으로 굴곡된 각도를 측정한다. hip 관절에서는 다리가 굴곡된 각도를 대퇴돌기점과 무릎마디바깥점을 잇는 축을 기준으로 측정하며, 2자유도 동작 범위에 대한 측정 방법은 표 3에 정리되어 있으며, 각 동작의 측정방법은 前 연구와 같다. 2자유도 동작범위의 측정은 직접 측정하지 않는 고정된 자유도 -독립변수- 의 동작 수준의 유지가 중요하므로, 본 연구에서는 실험실 바닥에 큰 원을 그리고 그 위에 각도

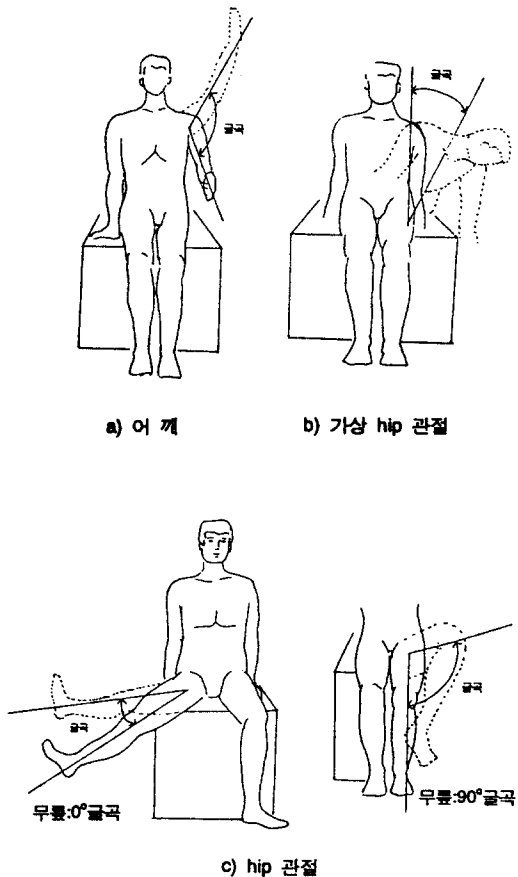


그림 1. 2자유도 관절 동작범위의 측정방법

표 3 2자유도 동작의 동작범위 측정방법*

동 작		측 정 방 법
어깨관절		피실험자가 등받이가 90°인 의자에 똑 바르게 앉아서 어깨점을 회전 기준점으로 하여, 어깨 굴곡이 90°되게 팔을 몸통 앞쪽으로 곧게 편 상태로 표 2에 나와 있는 주어진 수준만큼 어깨를 내전 혹은 외전을 한 다음 팔을 최대한 굴곡시킬 때의 어깨점과 팔꿈치바깥점을 연결하는 축의 굴곡 각을 측정함. 예를 들어, 어깨를 위쪽으로 90° 굴곡, 30° 외전시킨 상태에서 어깨의 최대 굴곡 각도를 측정함.
가상 hip 관절		피실험자가 등받이가 90°인 의자에 똑 바르게 앉아서 몸통을 표 2의 주어진 수준만큼 몸통의 측면으로 구부린 다음, 몸통을 최대한 굴곡시킬 때의 굴곡 각도를 장골능선점과 어깨점을 연결하는 축을 기준으로 측정함
hip 관절	무릎 : 90°굴곡	피실험자가 등받이가 90°인 의자에 똑 바르게 앉아서 무릎을 90° 굴곡시킨 채로 hip 관절을 표 2의 수준만큼 내전 혹은 외전한 상태에서, 최대 굴곡 각도를 대퇴돌기점과 무릎마디바깥점을 연결하는 축을 기준으로 측정함
	무릎 : 0°굴곡	피실험자가 등받이가 90°인 의자에 똑 바르게 앉아서 무릎을 0° 굴곡시킨 채로 hip 관절을 표 2의 수준만큼 내전 혹은 외전한 상태에서, 최대 굴곡 각도를 대퇴돌기점과 무릎마디바깥점을 연결하는 축을 기준으로 측정함

* 의자는 팔걸이(armrest)가 없으며, 측정 기준점은 '국민표준체위 조사 보고서[5]'의 정의를 따랐음

를 나타내는 눈금을 표시한 후 피실험자로 하여금 이것을 보고 초기 자세를 취하게 하였다. 또 실험자가 피실험자의 초기와 측정 관절에 따라 신체 부위를 최대한 굴곡한 측정시점의 고정된 자유도의 동작범위 수준이 유지되고 있는 지를 확인하였으며, 5° 이상의 오차가 있을 경우는 피실험자로 하여금 다시 자세를 취하게 하였다.

Ⅲ. 2자유도 관절의 동작범위

3.1 2자유도 동작 관절의 동작범위 통계자료

어깨, 가상 hip 관절과 hip 관절에서 2자유도 동작이 동시에 일어날 때의 굴곡의 동작범위는 다음 표 4와 같다. 표에서

팔호 안의 백분을 수치는 각 부위에서 내·외전 혹은 lateral bending이 0°일 때를 중립 위치 혹은 중립 자세(neutral position)로 가정하고, 이 위치에서의 굴곡 각도를 기준으로 한 백분율이다. 즉, 어깨와 hip관절에서는 내·외전이 0°일 때가 기준이 되고, 가상 hip 관절에서는 lateral bending이 0°일 때가 기준이 된다. 어깨관절에서는 내전 동작이 일어나면 굴곡 동작범위가 감소하고, 외전 동작이 일어날 경우는 60°까지는 굴곡 각도가 줄어들다가 60°에서 90°까지는 증가 추세를 보이고 있다. 외전 동작이 90°에서 더 커질수록 굴곡 각도는 다시 감소하여, 외전을 한계범위까지 하면 0°일 때 비하여 61.0%까지 급격하게 감소함을 보이고 있다 (그림 2). 가상 hip 관절에서는 lateral bend-

ing의 정도가 커짐에 따라 굴곡 한계가 0° 일 때에 비하여 61.4%까지 거의 절반 수준에 가깝게 감소함을 보였다 (그림 3). 그림에서 가상 hip 굴곡은 가상 hip이 lateral bending되어감에 따라 거의 선형적으로 감소하고 있음을 보이고 있다. hip 관절에서도 중립 자세에서 벗어나 내·외전의 동작이 커질수록 굴곡 동작범위가 감소함을 보였으며, lateral bending이 0°인 중립 자세에서 굴곡을 최대 할 수 있음을 보이고 있다. 또한 무릎을 0° 굴곡시킨 상태의 굴곡 동작범위가 무릎을 90° 굴곡시킨 경우의 굴곡 동작범위보다 30° 정도 작게 나타났으나, hip의 내·외전에 따른 hip 굴곡은 거의 유사한 경향을 보였다 (그림 4). Laubach와 McConville [8]의 연구에 의하면 무릎을 굴곡시킨 상태에서는 hip 관절이 감소함을 보이는 데 반하여, 본 연구에서는 무릎을 굴곡시킨 상태에서의 굴곡각이 더 크게 나타났다. 생체역학적 관점에서 보면 무릎을 90° 굴곡시키면 다리를 뻗치고 있을 때보다 moment arm이 짧아져 hip 관절에 걸리는 염력(torque)이 작아지므로 동작이 좀 더 자유로울 것으로 생각된다. 본 연구에서는 모든 피실험자가 이와 같은 경향을 보였으며, Laubach와 McConville의 연구에서도 무릎 굴곡이 증가할수록 hip의 굴곡의 감소량이 줄어들고 있다.

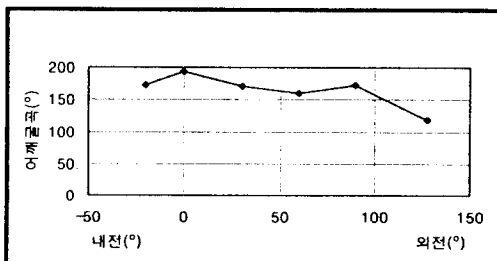


그림 2. 어깨 관절의 내·외전과 굴곡

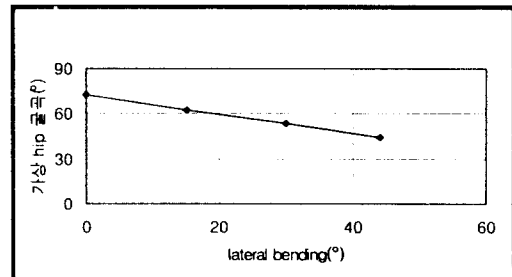


그림 3. 가상 hip 관절의 lateral bending과 굴곡

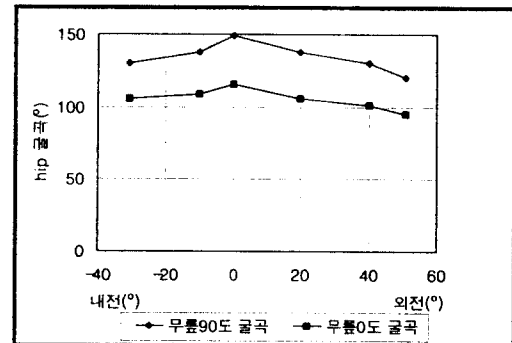


그림 4. hip 관절의 내·외전과 굴곡

3.2 분산분석

2자유도 동작이 한 관절에서 동시에 일어날 때 관절 동작범위에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위하여, 본 연구에서 측정된 체중, 신장 등의 인체측정 치수, Rohrer 지수, Livi 지수, 고정된 자유도의 동작 정도를 독립변수로 하여 분산분석을 실시하였다 (표 5). 여기서 체중, 신장, Rohrer, Livi 지수 등의 체형 변수는 전 연구에서와 같이 '국민표준체위 조사 보고서[5]의 백분위수별로 4개 등급의 범주 자료로 전환하였다. 표 5에서 보는 바와 같이 어깨 관절에서는 체중, 어깨 내·외전이, 가상 hip 관절에서는 체중, 신장, Rohrer 및 Livi 지수,

표 4. 2자유도 동작 관절의 동작범위 통계량

어깨관절 굴곡		내전 ←			→ 외전		
		20°	0°	30°	60°	90°	최대
		173.4 (89.3%)	194.2 (100%)	172.0 (88.6%)	160.1 (82.4%)	171.5 (88.3%)	118.4 (61.0%)
가상 hip 관절 굴곡		lateral bending					
		0°	15°	30°	최대		
		72.3 (100%)	62.5 (86.4%)	53.7 (74.3%)	44.4 (61.4%)		
hip 관절 굴곡	무릎 : 90°굴곡	내전 ←			→ 외전		
		최대	10°	0°	20°	40°	최대
		130.4 (87.4%)	138.1 (92.6%)	149.2 (100%)	137.5 (92.2%)	130.2 (87.3%)	120.5 (80.8%)
	무릎 : 0°굴곡	105.7 (91.2%)	109.2 (94.2%)	115.9 (100%)	105.7 (91.2%)	101.1 (87.2)	94.9 (81.9%)

표 5. 2자유도 동작 관절의 동작범위에 대한 분산분석 결과

	체중	신장	Rohrer지수	Livi지수	어깨 내.외전
어깨 관절	0.049*	0.533	0.095	0.357	0.000**
	체중	신장	Rohrer지수	Livi지수	lateral bending
가상 hip 관절	0.009**	0.016*	0.000**	0.000**	0.000**
	체중	신장	Rohrer지수	Livi지수	hip 내.외전
hip 관절 (무릎 : 90°굴곡)	0.017*	0.030*	0.000**	0.000**	0.000**
hip 관절 (무릎 : 0°굴곡)	0.078	0.200	0.193	0.102	0.000**

+ 위의 수치는 p-value임, * : significant at $\alpha=0.05$, ** : significant at $\alpha=0.01$

hip lateral bending이, 무릎을 굴곡시킨 상태에서의 hip 관절에서는 모든 독립 변수가 유의수준 5%에서 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 무릎을 뻗친 상태에서는 hip 내·외전만이 유의하게 나타났다. 가상 hip 관절과 무릎을 90°

굴곡시켜 무릎을 구부린 상태에서의 hip 관절에서의 굴곡은 체중, 신장과 같은 인체측정변수와 Rohrer, Livi 지수 등의 체형의 영향이 큰 것으로 나타난 반면, 같은 hip 관절에서 무릎을 0° 굴곡시켜 무릎을 바르게 편 상태에서의 hip의 굴곡은 다른 인체

변수의 영향이 작게 나타났다. 이는 이 상태에서의 hip 굴곡 동작이 매우 어렵기 때문에 hip 관절의 내·외전을 제외한 변수의 영향은 작게 나타난 것으로 해석되며, 실제 의자에 앉아서 무릎을 펴고 hip을 굴곡 시키기는 매우 어려운 동작이 된다. 어깨 관절에서는 2자유도 동작이 인체측정 변수나 체형의 영향이 작은 것으로 나타나, 어깨에서의 2자유도 동작은 비교적 다른 인체 변수의 영향 없이 자유롭게 일어날 수 있음을 보이고 있다. 이는 어깨 부위가 hip 관절 부위보다는 지방(fat) 성분이 작고, 다리보다는 팔이 가벼워 인체의 영향이 작게 나타난 것으로 보인다. 그리고 어깨, 가상 hip 관절 및 hip 관절에서 어깨 내·외전, hip lateral bending, hip 내·외전 등 본 연구에서 설정한 독립변수의 영향이 모두 유의한 것으로 나타나, 2자유도 동작이 한 관절에서 동시에 일어날 때, 서로 동작의 범위에 유의한 영향을 미침을 알 수 있다.

IV. 측정 오차의 검증

본 연구에서 측정, 제시한 인체 관절의 동작범위 자료의 오차의 정도를 보기 위하여, 측정 동작 중에서 어깨와 가상 hip 관절의 2자유도 동작의 동작범위를 3명의 피실험자에 대하여 5회 재측정을 실시하였다. 피실험자는 신장이 분산분석에서 사용한 4등급 중 1,3,4 등급에 속하며, 재측정 자료는 다음 표 6에 정리되어 있다. 본 연구의 측정의 신뢰성을 검증하기 위하여 5회 측정한 자료에 대해서, 변동계수를 표 6에 제시하였다. 표에서 보는 바와 각 측정 항목의 모든 피실험자의 변동계수가 한 경우를 제외하고는 5% 이하를 보여 주고 있다. 나머지 한 경우도 변동계수가 6.7% 정도여서 오차가 크지 않음을 보이고 있다. 1자유도 동작의 관절범위 측정의 경우[2]보다는 한

번 측정 시에 2자유도를 조절하여야 하기 때문에, 변동계수가 조금 크게 나타났다.

표 6 측정 오차 검증을 위한 재측정 자료

피실험자	측정부위	평균	표준편차	변동계수
A	어깨	170.0	2.49	0.033
	가상 hip 관절	65.8	1.24	0.042
B	어깨	166.0	2.93	0.039
	가상 hip 관절	51.4	3.65	0.067
C	어깨	165.8	1.77	0.024
	가상 hip 관절	75.2	1.15	0.034

V. 토의 및 결론

본 연구에서는 20대 전후의 한국 대학생을 피실험자로 하여 어깨, 가상 hip 관절, hip 관절에서 일어나는 2 자유도 동작의 동작범위를 측정하였다. 분산분석에서 2자유도 동작은 어느 한 자유도의 동작이 다른 자유도의 동작에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 어깨, 가상 hip 관절과 hip 관절에서의 2자유도 동작은 각 관절의 동작범위에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타나, 작업장 설계 시나 작업 영역의 해석적 생성 시에 이러한 점이 고려되어야 정확한 작업영역의 평가 및 생성이 가능할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구는 각기 독립적인 관절의 동작범위만을 제시한 기존 연구에 비하여, 2 자유도 동작 관절에 대한 동작범위를 제시하여 실제 활용 가능성을 제고하였다 하겠다.

2자유도 동작범위의 측정에 관한 연구는 아직까지 발표된 것이 없으며, Laubach와 McConville [8]의 자료는 하나의 관절에서 2자유도 동작이 일어날 때의 영향을 측정한 본 연구와 달리 2개의 관절에 연결되어 있는 근육(two-joint muscle)이 동작범위를 얼마나 제한하는 가 -팔꿈치를 굴곡할 때의 어깨 신전, 무릎 굴곡이

일어날 때의 hip 굴곡 등 - 를 다룬 것이다. 측정 방법은 본 연구와 유사하게 어느 한 자유도의 동작의 중립자세를 결정하고, 이에서 주어진 수준까지 동작을 취할 때의 다른 자유도의 최대 동작범위를 측정하였다. 예를 들어 팔꿈치를 일정 수준만큼 굴곡할 때의 어깨의 신전이나 굴곡의 각도를 측정하였다. 무릎의 굴곡에 따라 hip 관절의 굴곡이 33.2°까지 줄어들음을 보였다. 대부분의 twojoint muscle의 동작범위가 다른 동작에 의하여 감소함을 보였지만, 어깨 신전은 팔꿈치의 굴곡이 커짐에 따라 증가 추세를 보였다. 그러나 sweeping algorithm을 이용하여 작업영역을 생성할 때는 한 관절에서 여러 자유도의 동작이 동시에 일어날 때의 동작범위가 입력 자료로 요구되므로, 이러한 자료는 인체 동작의 특성을 밝히는 데는 도움이 되나 작업영역의 해석적 생성에는 입력 자료로는 사용되지 않는다. 또한 작업영역 혹은 reach envelope의 측정이 많은 시간과 비용을 요구하는 것을 고려할 때, 본 연구가 작업영역을 실제 측정이 아닌 컴퓨터 프로그램 등을 이용하여 해석적으로 생성하기 위한 선행 연구로서의 의의가 있다 하겠다. 특히, reach envelope에 대한 측정 자료가 전혀 없는 우리 나라에서 본 연구는 그 생성의 기초 연구로서 충분한 가치를 가진다 할 수 있다.

VI. 참고 문헌

- [1] 기도형, 동작과 가시도가 개선된 인간 공학적 인터페이스 모델의 개발, 포항공과대학교 박사학위논문, 1993.
- [2] 기도형, "한국대학생의 가상 hip 관절과 하지관절의 동작범위 측정", 대한인간공학회지, in press, 1996.
- [3] 윤남식, 한국인의 체위, 이화여자대학교 출판부, 서울, 1987.
- [4] 이영신, 이석기, 박세진, 김철중, "한국인 20대 청년의 팔 관절 동작범위 측정 연구", 대한인간공학회 춘계학술발표대회 논문집(pp. 62-71), 1995.
- [5] 한국표준과학연구원, 산업제품의 표준치 설정을 위한 국민표준체위 조사 보고서, 공업진흥청, 1992.
- [6] 한국공업표준협회 편, K.S.(한국공업규격) : R : 수송기계, 한국공업표준협회, 1987.
- [7] Li, S., and Xi, Z., "The measurement of functional arm reach envelopes for young Chinese males", Ergonomics, Vol. 33(7) : 967-978, 1990
- [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., 1992.