Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.20, No.3, pp.11-25, December 2001

잡기 동작에서 손가락 동작의 상관관계 분석*

Correlation analysis of finger movements in dynamic hand grasping

류 태 범**, 윤 명 환***

ABSTRACT

As human movements have the inherent property of anticipating target and can be coordinated to realize a given schedule, finger movements have stereotyped patterns during hand grasping. Finger movements have been studied in the past to find out the coordination pattern of hand joint angular movement. These studies analyzed only a few finger joints for a limited number of hand postures. This study investigated fourteen joint angles during eight hand-grasping motions to analyze the angular correlations between finger joints and to suggest motion factors which represent hand grasping. Hand grasping motions including forward arm motion were examined in ten healthy volunteers. Eight objects were used to represent real hand grasping tasks. CyberGlove™ and Fastrack™ measured hand joint angles and wrist origin. Joint angle correlations between PIJ(proximal interphalangeal joint) and MPJ(metacarpophalangeal joint) at one finger, between neighboring PIJs and MPJs were analyzed for each hand-grasping phase and posture. Factor analysis showed that there were four factors related to the fast phase of hand grasping motions and eight factors related to the slow phase of hand grasping motions.

Keywords: hand, grasp, correlation, coordination, factor, fast phase, slow phase

* 본 논문은 한국과학재단 가상현실연구센터의 지원으로 수행하였습니다.*
** 포항공과대학교 기계산업공학부
주소: 790-784 경북 포항시 남구 포항공대 산업공학과
전화: 054-279-8246
E-mail: tbryu@postech.ac.kr
*** 포항공과대학교 기계산업공학부

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

1. 서 론

인간의 손은 27개의 작은 뼈들로 이루어져 있고, 이것들은 다시 16개의 관절들에 의해 연결되어 있으며, 약 30 정도의 많은 동작 자유도를 갖는다(Taha et al., 1997; Lien et al., 1998). 이와 같은 손의 복잡한 구조로 인해 인간은 다양한 물체를 사용할 수 있고, 한 물체를 다양한 잡기 자세로 잡을 수 있다. 하지만, 작업의 목적을 수행하기 위해서는 물체에 효과적으로 힘을 줄 수 있는 손의 자세를 취해야 하므로, 손은 물체의 특징과 작업 목적에 따라 제한된 자세를 갖게 되고, 물체를 잡는 과정의 손 동작도 예상된 작업의 요구사항을 반영한다고 볼 수 있다(Mackenzie et al., 1994). 그러므로, 작업 수행을 위한 손 동작에서 관절들은 연관성을 갖고 동작함을 예상할 수 있다.

손가락 동작 관계 연구 중, Buchner et al.(1988)는 손가락의 해부학적 tendon 구조에서 Landsmeer(1969)의 건 변위 모델을 사용하여 엄지를 제외한 네 손가락 PIJ(Proximal Interphalangeal Joint)와 DIJ(Distal Interphalangeal Joint)간의 동작 유형 방정식을 도출하여 이 두 관절이 일정한 관계를 갖고 동작함을 보였다. Darling et al.(1994)는 검지 손가락을 제외한 나머지 손가락을 고정시켜 놓은 상태에서, 검지 손가락을 여러 속도와 방향으로 자유롭게 움직이게 하는 실험을 하여 DIJ와 PIJ간의 각속도의 상관관계가 높고, PIJ와 MPJ(Metacarpophalangeal Joint)간의 각속도 상관관계는 이보다 낮음을 발견하고, DIJ와 PIJ는 하나의 동작 단위로 같이, 거의 동시에 움직이지만, MPJ는 이들 관절과 동작 상관관계가 작아 독립적으로 움직인다고 하였다. 하지만, 그는 이러한 관절간 동작 관계가 실제 작업에서도 나타나는지에 대한 연구가 필요하다고 하였다. 실제 잡기 동작을 연구한 Nakamura et al.(1998)는 관절간 동작 관계 분석에서 DIJ, PIJ 그리고 MPJ 관절간에 높은 상관관계를 보인다고 하였다. 하지만 그가 연구한 잡기 동작은 손목의 이동이 없고, 초기 자세가 손가락을 곧게 펴고 있는 상태로 실제 잡기 동작과 차이가 있다고 볼 수 있다. 위의 이러한 연구들은 한 개 혹은 두 개의 손가락 관절만을 대상으로 동작 상관관계를 파악하였고, 분석한 동작이 실제 잡기 동작과 차이가 많다는 점에서 보다 전체적이고 실제 잡기 동작에 근접한 동작관계 연구가 필요하다고 할 수 있다.

Jeannerod(1984)는 손목의 이동을 포함한 잡기 동작 연구에서 손목의 이동 속도와 엄지와 검지 사이의 거리 관계를 연구하여 잡기 동작을 손목의 최대 이동속도를 기준으로 손목이 가속상태이고 손가락이 열리는 빠른 단계(Fast phase)와 손목의 이동 속도가 줄면서 손가락이 닫히는 느린 단계(Slow phase), 두 단계로 분류하였다. 본 연구는 손목이 이동하는 실제 잡기 동작에서 모든 손가락의 PIJ와 MPJ 동작 상관관계, 손가락간 PIJ 동작 상관관계, 손가락간 MPJ 동작 상관관계 그리고 손가락간 내외전(Deviation) 동작 상관관계를 Jeannerod (1984)의 빠른 단계와 느린 단계에서 각각 파악하였다. 또한, 동작 상관관계가 높은 관절들을 묶어, 복잡한 잡기 동작을 간단히 표현할 수 있는 동작 요인을 제시하였다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

이러한 손 동작에서의 관절간 상관관계 파악은 손 동작 연구에서 분석할 관절 대상의 수를 감소시킬 수 있고, 전체 손 동작을 일부 관절의 측정으로 파악할 수 있어 손 동작 측정의 효율성을 제고할 수 있다.

2. 실험 및 방법

본 연구에서는 잡기 동작에서 손 관절간 동작 상관관계를 분석하기 위해 다양한 잡기 자세에 대해 실제 물체를 잡는 실험을 수행하였다.

2.1 피실험자

본 연구에는 10명의 남성의 대학생 및 대학원생이 실험에 참여하였다. 이들은 손 및 팔과 관련된 질병이나 상해에 대한 병력이 없고, 주로 오른손을 사용한다. 이들의 나이는 모두 20세 이상으로 잡기 동작의 패턴이 이미 형성되어 있다고 생각할 수 있다. 참여한 피실험자 10명의 손 크기는 버니어캘리퍼스를 사용하여 측정하였다. 손 길이는 엄지의 밑면부터 중지의 길이를 측정하고, 손 너비는 MPJ 부분의 검지부터 소지까지의 길이를 측정하였으며, 손 두께는 중지의 MPJ부분의 두께를 측정하였다(Kessler, 1995). 측정치는 다음 [표 1]과 같다.

2.2 실험 기기

본 실험에서 손가락 관절의 각도를 측정하기 위하여 CyberGlove™(Virtual Technologies, Inc.) 시스템을 이용하였다. CyberGlove™ 시스템은 측정 장갑인 CyberGlove™와 데이터 입·출력을 담당하는 CGIU(CyberGlove Interface Unit), 그리고 CyberGlove™ 손목 부위에 부착되어 손목의 공간상 위치와 방향을 3차원 좌표로 측정하는 Fastrak™으로 구성되어 있다.

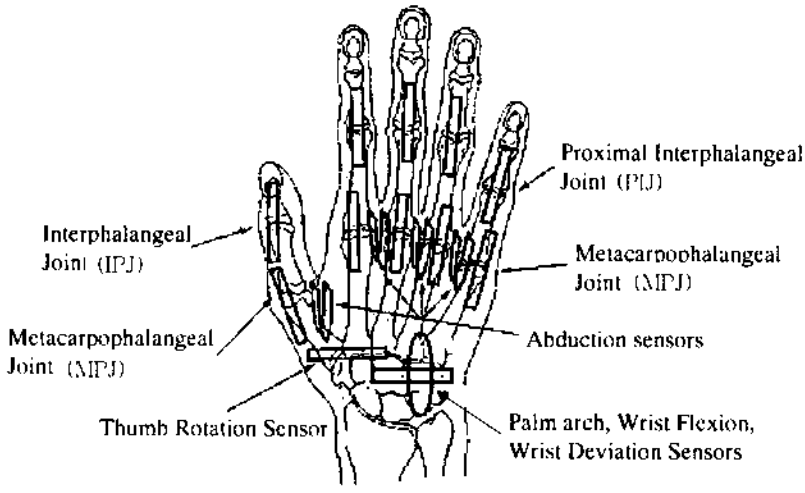
Kesser et al. (1995)은 CyberGlove™ 시스템의 평가에서 정적인 자세에서 측정값을 살펴본 결과 오차가 최대 3도이고 평균 1.1도로써 중요한 문제점은 아니며, 측정된 관절의 각도는 손 길이, 너비, 두께에 따라 유의한 차이를 보이지 않다고 보고하였다.

본 실험에서는 CyberGlove™으로 아래 [그림 1]의 엄지를 제외한 각 손가락의 PIJ와 MPJ의 굴신전 각도와 MPJ의 내외전 각도, 엄지의 IPJ (Interphalangeal Joint)와 MPJ의 굴신전 그리고 내외전 각도를 측정하였다.

[표 1] 피실험자의 손 크기(단위 cm)

	평균	표준편차	최대	최소
손 길이(Length)	18.88	0.619	19.7	17.8
손 너비(Breadth)	8.49	0.417	9.3	8
손 두께(Thickness)	2.99	0.296	3.5	2.7

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

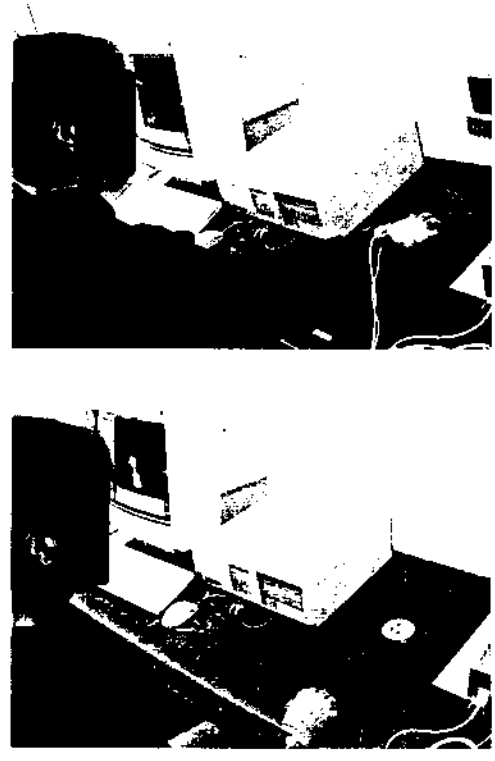


[그림 1] CyberGlove 의 센서 위치 (Kessler et al., 1995)

2.3 실험 방법

본 연구에서는 실제 잡기 동작에서의 손 관절간 동작관계를 분석하기 위해 실제 물체를 잡는 실험을 수행하였다. 실험 전에 피실험자별로 CyberGloveTM의 보정을 하였다. Virtual Technology가 제공하는 소프트웨어(Virtual hand)를 사용하여 손 관절별로 두 가지 극점(Extreme point)을 정하여 소프트웨어의 보정 변수(Parameter) 값을 조정하였다. 두 극점에서의 측정을 10~20번으로 하여 보정하였으며 두 극점에서의 오차는 1~2도 정도이다.

본 실험에서 피실험자는 앉은 자세에서 정해진 위치에 주먹을 쥔 상태로 놓고, 물체를 잡으라는 지시 후에 손에서 30cm 앞에 위치한 물체를 잡고 드는 작업을 수행하였다. 손 관절의 측정은 이 작업 동안에 이루어졌다. 다음 [그림 2]는 실험 장면을 보여준다.



[그림 2] 실험 장면 (예) Disc grip

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

Five-finger pinch

Spherical grip

Disc grip

Tip pinch(2 point)

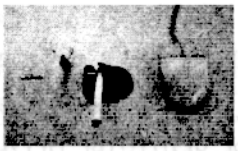
Palmar pinch(2 point)

Lateral pinch

Pen grip

Mouse grip

[그림 3] 실험의 잡기 자세(Makenzie et al., 1994)


Tip Lateral Pen Mouse

Five-finger pinch

Disc grip

Spherical grip

Palmar pinch

[그림 4]실험의 잡기동작에 사용된 물체

물체를 잡는 자세는 Schlesinger (1955)의 잡기 자세 분류를 기초로 하여 8가지 자세에 대해 실험하였다. 실험 자세는 Five-finger pinch, Spherical grip, Disc grip, Tip pinch, Palmar pinch, Lateral pinch, Pen grip, Mouse grip이다. 다음 〔그림 3〕은 실험을 수행한 잡기 자세를 보여준다.

실제 잡기 동작을 구현하기 위해 잡기 자세마다 적절한 물체를 설정하여 실험하였다. 다음 〔그림 4〕는 실험에 쓰인 물체를 나타낸다.

실험은 9가지 잡기 자세를 무작위 순서로 하고, 피실험자 당 한 자세에 대해 3번을 반복하여 물체를 잡도록 하였다. 그리고 실험사이에 휴식을 갖도록 하였다.

3. 결과 및 분석

실험의 분석은 피실험자별로 잡기 동작에서의 관절 각도 데이터를 손목 최대 이동속도를 기준으로 빠른 단계와 느린 단계로 나눈 후, 시간을 표준화 하여 일정한 개수로 맞춘 데이터로 손 관절간 상관관계 분석과 주성분 분석을 수행하였다.

상관관계 분석 결과, 잡기 동작의 단계와 잡기 자세 별 특징을 살펴볼 수 있다. 다음 〔그림 5〕와 〔그림 6〕은 빠른 단계와 느린 단계에서의 피실험자 10명에 대한 손 관절의 동작 상관관계 분석 결과를 나타낸 것이다.

먼저, 손목이 가속 상태이고 손가락이 열리는

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

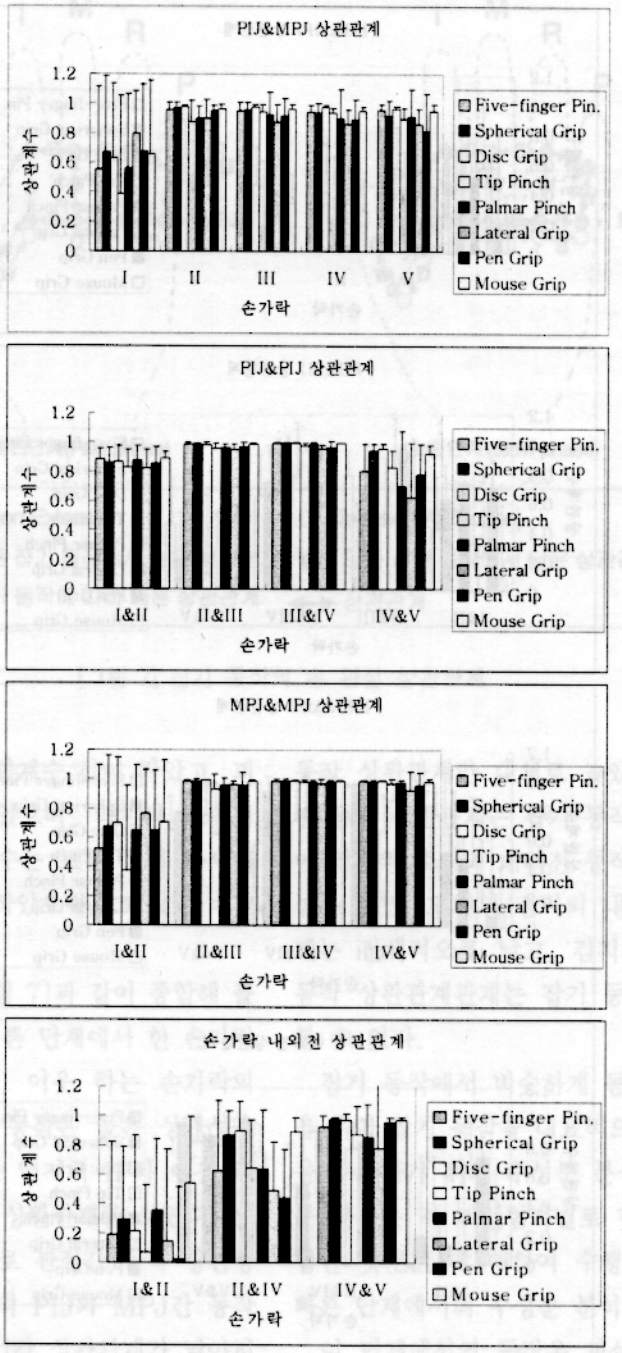
빠른 단계에서 PIJ와 MPJ 동작 간의 상관관계를 살펴보면([그림 5] 참조), 검지(II)부터 소지(V)까지 모든 자세에서 0.8이상의 높은 상관계수를 보이고 있음을 볼 수 있다. 엄지(I)에서 PIJ와 MPJ의 상관계수는 그 값이 작고, 피실험자별 편차가 컸다.

빠른 단계에서 이웃 하는 손가락의 PIJ와 PIJ의 동작 상관분석 결과, 일부(Palmar pinch, Lateral pinch) 자세의 약지(IV)와 소지(V) 관계를 제외한 이웃 하는 모든 PIJ간 관계에서 0.8 이상의 높은 상관계수와 피실험자간 작은 편차를 볼 수 있다. 반면, 빠른 단계에서 이웃 하는 손가락의 MPJ와 MPJ의 동작 상관관계는 실험의 모든 잡기 자세에서 엄지(I)와 검지(II)관계를 제외한 모든 관계에서 높은 상관계수와 피실험자간 작은 편차를 보이고 있다. 이는 빠른 단계의 실험의 모든 잡기자세에서 이웃 하는 손가락의 동일 관절간 동작 상관성은 선형성이 높지만, 엄지의 MPJ만이 나머지 네 손가락의 MPJ와 낮은 상관관계에 있음을 의미하는 것이다.

빠른 단계에서 손가락 MPJ의 내외전 간의 상관분석 결과, 약지(IV)와 소지(V)의 동작 상관계수는 Lateral pinch를 제외한 실험의 모든 잡기 자세에서 0.8 이상의 높은 값을 나타내었다. 엄지와 검지의 동작 상관계수는 실험의 모든 잡기 자세에서 낮게 나타났고, 피실험자간 편차도 심하였다. 검지와 약지간 동작 상관계수는 잡기 자세에 따라 차이가 있다. 모든 손가락이 물체와 접촉하는 Spherical grip, Disc grip, Mouse grip에서 검지와 약지간 동작 상관계수는 0.8 이상의 높은 상관관계를 나타내었다. 또, 이들 자세에서의 피실험자간 편차도 작게 나타났다. 그 밖의 엄지(I)와 검지(II) 등 일부 손가락이 물체와 접촉하는 자세(Tip pinch, Palmar pinch, Lateral pinch, Pen grip)에서는 상관계수가 0.7 미만으로 작았고, 피실험자간 편차가 심하였다.

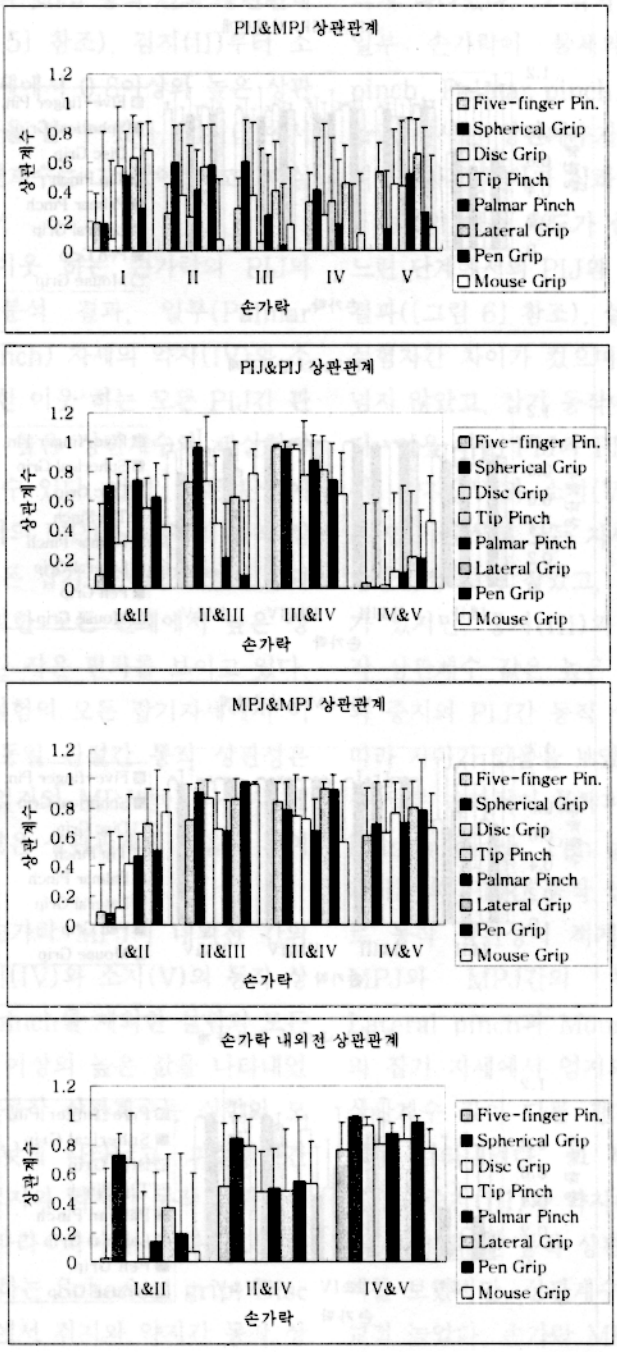
손목의 이동 속도가 줄면서 손가락이 닫히는 느린 단계에서의 PIJ와 MPJ의 동작 상관 분석 결과([그림 6] 참조), 실험의 모든 자세에서 피실험자간 차이가 컸으며, 상관계수 값이 0.7을 넘지 않았고, 잡기 동작에 따른 차이를 볼 수 있다. 이웃 하는 PIJ와 PIJ간의 동작 상관관계에서, 약지(IV)와 소지(V)의 PIJ간 상관계수는 본 연구 대상의 모든 자세에서 다른 PIJ간 동작 상관관계 보다 작았고, 잡기 동작에 따라 차이가 있지만, 중지(III)와 약지(IV)의 PIJ간 동작 상관계수 값은 높은 값을 나타내었다. 검지와 중지의 PIJ간 동작 상관계수는 잡기 자세에 따라 차이가 있음을 보였다. 엄지(I)와 검지(II) 등 일부 손가락이 물체와 접촉하는 Tip pinch, Palmar pinch, Pen grip에서 검지(II)와 중지(III)의 PIJ간 동작 상관계수 값이 0.5 이하로 동작 상관성이 적게 나타났다. 이웃 하는 MPJ와 MPJ간의 동작 상관관계에서는, Lateral pinch과 Mouse grip을 제외한 실험의 잡기 자세에서 엄지와 검지의 MPJ간 동작 상관계수 값이 다른 관계와 비교해 매우 작은 값을 나타내었다. 그 밖의, 검지(II)와 중지(III), 중지(III)와 약지(IV), 약지(IV)와 소지(V)의 MPJ간 동작 상관계수는 자세에 따라 차이를 보였지만, 상관계수 값이 0.6 이상으로 비교적 높았다. 손가락 MPJ의 내외전 간의 상관관계는, Spherical grip과 Disc grip을 제외한 실험의 잡기 자세에서 엄지와 검지 그리고 검지

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.



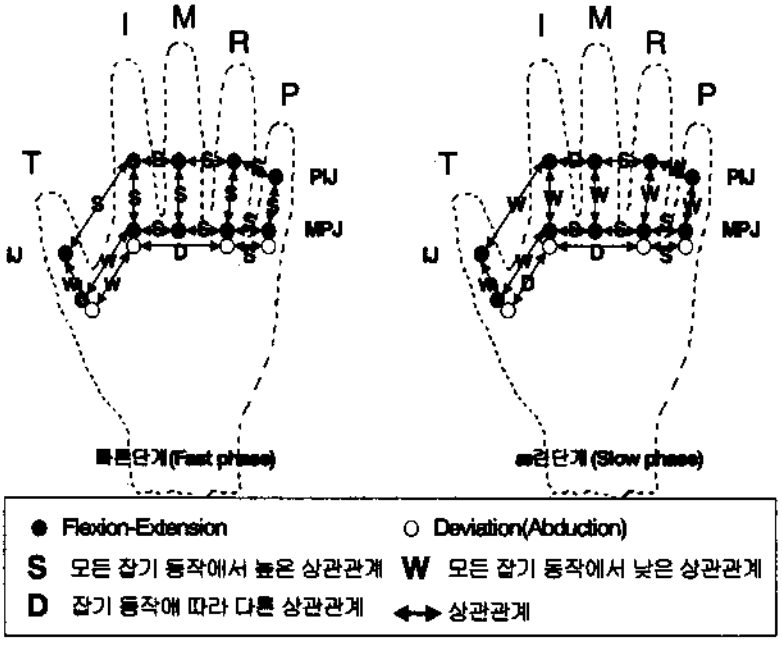
[그림 5] 빠른 단계에서 손 관절의 동작 상관관계
(I: 엄지, II: 검지, III: 중지, IV: 약지, V :소지)

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.



[그림 6] 느린 단계에서 손 관절의 동작 상관관계
(I: 엄지, II: 검지, III: 중지, IV: 약지, V :소지)

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.



[그림 7] 잡기 동작의 손 관절 상관관계

와 약지의 내외전 간 상관계수 값이 작았고, 피실험자간 큰 차이가 있었으며, 약지와 소지의 MPJ 내외전 간 상관계수는 모든 실험 자세에서, 피실험자간 차이가 작았으며, 그 값도 비교적 높음을 볼 수 있다.

위의 결과는 다음 [그림 7]과 같이 종합해 볼 수 있다. 잡기 동작의 빠른 단계에서 한 손가락의 PIJ와 MPJ간 동작, 이웃 하는 손가락의 PIJ간 동작 및 MPJ간 동작은 높은 상관성을 보이지만 엄지의 MPJ는 엄지의 IP와 이웃 하는 검지의 MPJ와 낮은 상관관계를 보였다. 느린 단계에서는 전체적으로 관절간 동작 상관성이 낮아져, 한 손가락내의 PIJ와 MPJ간 동작 상관관계, 이웃 하는 PIJ간 상관관계가 낮아지고, 검지, 중지, 약지, 그리고 소지의 MPJ간 동작 상관관계만 대체로 높았다. MPJ간 내외전 동작 상관관계는 잡기 동작의 단계에 상관없이 약지와 소지의 내외전 동작 상관관계가 매우 높은 반면, 엄지와 검지의 내외전 동작 상관관계는 전체적으로 낮고, 검지와 약지의 내외전 동작 상관관계관계는 잡기 동작에 따라 다름을 볼 수 있다.

잡기 동작에서 비슷하게 동작하는 손의 관절을 묶어 잡기 동작을 대표적으로 나타내는 성분을 추출하기 위해 주성분 분석을 하였다. 주성분 분석은 각 피실험자별로 잡기동작 데이터를 합한 셋(Set)에 대하여 수행하였다. [표 2]는 빠른 단계에서의 주성분 분석 결과이다.

이 단계에서의 동작은 피실험자 모두 2개의 성분으로 설명될 수 있으며, 그룹수는 3-4 개였

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

[표 2] 빠른 단계의 주성분 분석 결과

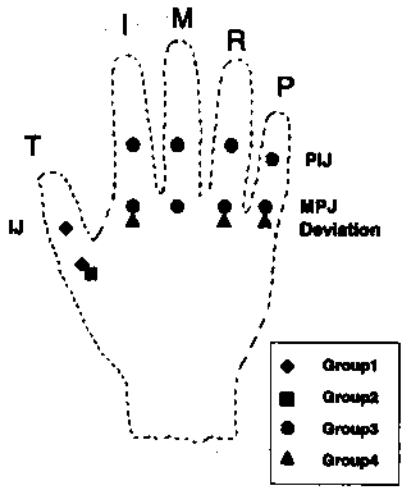
(□ 이 하나의 그룹)

피실험자	성분(Factor)수	그룹수	그룹핑 결과
1	2	4	[TM], [TD], [ID RD PD], [TI IM IP MM MP RM RP PM PP]
2	2	4	[TM TI], [TD], [ID RD PD], [IM IP MM MP RM RP PM PP]
3	2	4	[TM TI], [TD], [ID], [RD PD IM IP MM MP RM RP PM PP]
4	2	4	[TD], [ID RD PD], [RP PP], [TM TI IM IP MM MP RM PM]
5	2	3	[TM TA], [TI], [ID RD PD IM IP MM MP RM RP PM PP]
6	2	3	[TD], [ID RD PD], [TM TI IM IP MM MP RM RP PM PP]
7	2	3	[TM TI], [TD], [ID RD PD IM IP MM MP RM RP PM PP]
8	2	2	[TD], [TM TI ID RD PD IM IP MM MP RM RP PM PP]
9	2	4	[TM TI], [TD], [ID], [RD PD IM IP MM MP RM RP PM PP]
10	2	3	[TM TI], [TD], [ID RD PD IM IP MM MP RM PM PM PP]

(참고. TI: Thumb IPJ, TD: I-II Deviation, IM: Index MPJ, IP: Index PIJ, ID: II-III Deviation, MM: Middle MPJ, MP: Middle PIJ, RM: Ring MPJ, RP: Ring PIJ, RD: III-IV Deviation, PM: Pinkie MPJ, PP: Pinkie PIJ, PD: IV-V Deviation, I: Thumb, II: Index, III: Middle, IV: Ring, V: Pinkie)

다([표 2] 참조). 피실험자별로 손 관절의 그룹핑 결과가 조금 달랐지만 다음과 같은 공통점을 알 수 있다. 먼저, 엄지의 MPJ(TM)와 엄지의 IPJ(TI)가 한 그룹에 속하는 경우는 전체 피실험자의 70%이고, 검지의 MPJ(IM), 검지의 PIJ(IP), 중지의 MPJ(MM), 중지의 PIJ(MP), 약지의 MPJ(RM), 약지의 PIJ(RP), 소지의 MPJ(PM) 그리고 소지의 PIJ(PP)가 한 그룹인 경우는 전체의 90%를 차지하였으며, 엄지의 MPJ 내외전(TD)만 한 그룹인 경우는 전체의 90%였다. 또한, 검지, 약지 그리고 소지의 MPJ 내외전(ID, RD, PD)이 한 그룹인 경우는 전체의 90%이고, 검지, 약지 그리고 소지의 MPJ 내외전(ID, RD, PD)과 검지의 MPJ(IM), 검지의 PIJ(IP), 중지의 MPJ(MM), 중지의 PIJ(MP), 약지의 MPJ(RM), 약지의 PIJ(RP), 소지의 MPJ(PM) 그리고 소지의 PIJ(PP)가 한 그룹인 경우는 전체의 60%에 달하였다. 이의 결과에서 빠른 단계에서 다음 [그림 8]과 같이 손의 동작은 크게 엄지의 굴전 및 신전 동작(TM, TI), 엄지의 외전 및 내전 동작(TD), 엄지를 제외한 나머지 네 손가락의 굴전 및 신전(IM, IP, MM, MP, RM, RP, PM, PP), 그리고 이 네 손가락의

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.



[그림 8] 빠른단계의 동작요인

외전 및 내전 동작(ID, RD, PD)의 4개 동작 요인으로 나타낼 수 있다.

다음 [표 3]은 느린 단계에서의 주성분 분석 그룹핑 결과이다.

이 단계에서의 동작은 피실험자 3-4 개의 성분으로 설명될 수 있으며, 그룹수는 6-9 개였다([표 3] 참조). 느린 단계에서의 공통적인 그룹핑 결과를 보면 먼저, 검지, 약지 그리고 소지의 MPJ 내외전(ID, RD, PD)이 한 그룹에 속하는 경우가 전체의 90%, 검지, 중지 그리고 약지의 MPJ(IM, MM, RM)가 한 그룹인 경우는 전체의 60%, 중지, 약지 그리고 소지의 PIJ가 한 그룹인 경우는 70%(MP, RP, PP),

[표 3]느린 단계의 주성분 분석 결과

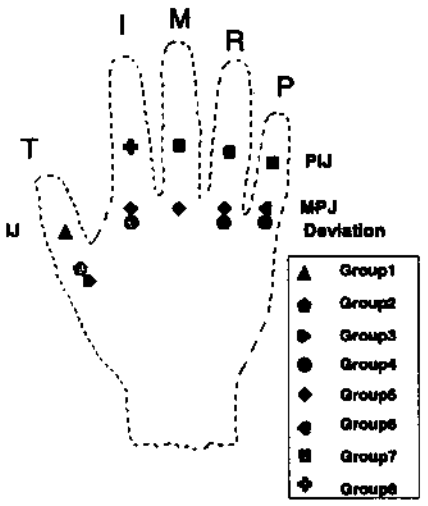
(□이 하나의 그룹)

피실험자	성분(Factor)수	그룹수	그룹핑 결과
1	2	9	[TM] [TI] [TD] [IP] [ID RD PD] [IM MM RM] [MP RP] [PM] [PP]
2	4	6	[TM] [TI] [TD] [IM ID RD PD] [IP MM MP RM RP PP] [PM]
3	3	8	[TM] [TI] [TD] [ID RD PD IM MM RM] [IP MP] [RP] [PP] [PM]
4	4	8	[TM] [TI] [TD] [ID RD PD] [IM MM RM] [IP] [MP RP] [PP] [PM]
5	4	8	[TM] [TI] [TA] [ID] [RD PD] [IM MM RM] [IP] [MP RP] [PP] [PM]
6	3	8	[TM] [TI] [TA] [ID] [RD PD] [IM MM RM] [IP] [MP RP] [PP] [PM]
7	3	6	[TM] [TI] [TA] [ID RD PD IM MM RM] [IP MP RP PP] [PM]
8	3	6	[TI] [TD] [TM RD PD] [IM IA] [IP MM MP RM RP PP] [PM]
9	4	9	[TM] [TI] [TD] [ID RD PD] [IP MP] [IM RP] [MM RM] [PP] [PM]
10	4	3	[TM] [TI] [TD] [ID RD PD] [IM IP] [MM MP RP PP] [RM PM]

(참고. TI: Thumb IPJ, TD: I-II Deviation, IM: Index MPJ, IP: Index PIJ, ID: II-III Deviation, MM: Middle MPJ, MP: Middle PIJ, RM: Ring MPJ, RP: Ring PIJ, RD: III-IV Deviation, PM: Pinkie MPJ, PP: Pinkie PIJ, PD: IV-V Deviation, I: Thumb, II: Index, III: Middle, IV: Ring, V: Pinkie)

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

엄지의 MPJ(TM), IPJ(TI), MPJ 내외전(TD)이 각각 한 그룹인 경우는 90%, 엄지의 MPJ(TM), IPJ(TI), MPJ 내외전(TD) 그리고 소지의 MPJ(PM)가 각각 한 그룹인 경우는 90%, 엄지의 MPJ(TM), IPJ(TI), MPJ 내외전(TD), 소지의 MPJ(PM) 그리고 검지의 PIJ(IP)가 각각 한 그룹인 경우 40%로 나타났다. 이는 느린 단계에서는 [그림 9]와 같이 엄지의 각 관절(TM, TI, TD)이 각각 독립적으로 동작하고, 검지, 약지, 소지의 MPJ 내외전(ID, RD, PD)이 같이 동작하며, 검지, 중지, 약지의 MPJ(IM, MM, RM)는 같이 동작하고 소지의 MPJ(PM)는 이 그룹에 속하지 않음을 나타낸다. 또한, 중지, 약지, 소지의 PIJ(MP, RP, PP)는 같이 움직이지만, 검지의 PIJ(IP)는 이에 속하지 않았다. 따라서 느린 단계에서의 손동작은 총 8개의 동작요인이 추출되었다.



[그림 9] 느린단계의 동작요인

4. 토의 및 결론

본 연구는 실제 물체 잡기에서 손 관절간 동작 관계의 분석을 Jeannerod(1984)의 빠른 단계와 느린 단계로 나누어 분석하였다. 분석 결과 잡기 단계에 따라 손 관절의 동작 상관계의 차이가 있음을 발견할 수 있다. 잡기 동작의 빠른 단계 동안에 손은, 엄지를 제외한 나머지 네 손가락의 PIJ와 MPJ, 이웃하는 손가락의 PIJ간과 엄지를 제외한 네 손가락의 MPJ간 그리고 약지와 소지의MPJ 내외전이 선형적인 관계를 갖고, 일정 유형으로 같이 움직임을 알 수 있다. 이는 본 연구의 대상인 대부분의 잡기 동작에 나타났다. 엄지의 관절들은 나머지 손의 관절과는 선형적 동작 관계가 없음을 볼 수 있다. 엄지의 PIJ와 MPJ는 모든 실험 자세에서 작은 동작 상관관계 보였고, 엄지의 MPJ와 다른 손가락의 MPJ의 동작 상관관계는 작으며, 엄지의 MPJ 내외전도 나머지 손가락의 MPJ 내외전과 동작 상관관계가 낮았다. 또한, 빠른 단계에서 다섯 손가락이 물체와 접하는 자세(Spherical grip, Disc grip, Mouse grip)와 엄지와 검지만이 물체와 접하는 자세(Tip pinch, Palmar pinch, Lateral pinch, Pen grip)는 검지와 약지의 MPJ 내외전 관계의 선형성 여부를 기준으로 분리됨을 볼 수 있었다. 엄지와 검지만 물체와 접촉하는 동작에서 검지와 약지의 MPJ 내외전 동작 상관관계가 낮게 나타났다. Five-finger pinch는 다섯 손가락이 물체와 접촉하는 자세임에도 검지와 약지의 MPJ 내외전 상관계수가 낮았다. 이는 빠른 단계에서 Five-finger pinch는 엄지와 검지가 물

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

체와 접촉하는 자세와 차이가 없음을 나타낸다고 볼 수 있다. 결국, 빠른 단계에서는 검지와 약지의 MPJ 내외전 상관관계만 잡기 자세에 따라 다른 뿐, 나머지 동작 상관관계에서 자세별 차이는 없다고 말할 수 있다.

느린 단계에서는 한 손가락간 PIJ와 MPJ간 상관관계는 모든 잡기자세에서 낮았고, 잡기 동작에 따른 차이가 있었다. 이웃하는 손가락의 PIJ간 상관관계는 중지와 약지 관계가 실험의 잡기 자세에 따라 차이가 있었지만 대체적으로 높았고, 약지와 소지 관계는 실험의 모든 잡기 자세에서 낮았다. 특히 검지와 중지는 잡기 자세에 따라 PIJ간 상관관계가 다르게 나타났다. 다섯 손가락이 물체에 접촉하는 자세(Five-finger pinch, Spherical grip, Disc grip, Mouse grip)에서 검지와 중지의 PIJ 동작 상관관계가 높은 반면, Tip pinch, Palmar pinch, Pen grip에서는 검지와 중지의 PIJ 동작 상관관계가 없었다. 다만, Lateral pinch에서만 비교적 검지와 중지의 PIJ 동작 상관관계가 높았다. 이는 Lateral pinch가 엄지와 검지가 물체와 접촉하지만, 검지 손가락이 중지, 약지, 소지의 PIJ와 같이 동작함을 나타낸다. 느린 단계에서 이웃하는 손가락의 MPJ간 상관관계는 엄지를 제외한 나머지 손가락간의 상관관계는 비교적 높았지만, 잡기 동작 별 차이를 볼 수 있었다. 이 단계에서 이웃하는 손가락의 내외전 관계는 약지와 소지 사이의 상관관계만이 모든 잡기 동작에서 높게 나타났고, 엄지와 검지, 검지와 약지의 내외전 관계는 Spherical grip과 Disc grip만이 높은 상관관계를 갖고 있었다. 결국, 잡기 동작의 느린 단계에서는 모든 잡기 동작에서, 모든 손가락의 PIJ와 MPJ의 상관관계가 낮았고, 약지와 소지의 내외전 상관관계는 높으며, 약지와 소지의 PIJ간 상관관계가 낮을 뿐, 나머지 동작 상관관계는 잡기 자세별 차이가 큼을 알 수 있다. 다만, 중지와 약지의 PIJ간 상관관계와 검지와 중지, 중지 와 약지, 약지와 소지의 MPJ간 상관관계가 대체적으로 높았다. 이는 잡기 동작은 느린 단계에서 그 자세가 결정됨을 나타낸다고 볼 수 있다.

Nakamura et al.(1998)의 연구에서는 잡기 분석에서 엄지 손가락의 DIJ, PIJ 그리고 MPJ의 상관관계가 높다는 결과를 보였다. 이는 초기 시작 자세가 손을 편 상태로 손의 각종 신근(Extensor) 근육이 작용하는 상태이므로, 잡기 동작이 시작되면서 손의 각종 신근 근육이 자동적으로 이완될 것이고, 신근 근육이 충분히 이완된 이후에 잡기 동작을 할 것이다. 따라서, Nakamura et al.(1998)의 모든 관절간 상관성이 높은 결과는 초기 근육이 긴장된 상태에서 이완된 상태로 가는 수동적 동작을 대부분 반영하기 때문에, 실제 잡기 동작에서 손 관절간 동작 관계에 대한 결과라고는 보기 힘들다.

잡기 동작에서 비슷하게 동작하는 손 관절을 그룹핑한 결과, 빠른 단계에서는 엄지의 굴전 및 신전 동작, 엄지의 외전 및 내전 동작, 검지에서 소지까지의 굴전 및 신전 동작 그리고 검지에서 소지까지의 외전 및 내전 동작으로 4개의 동작이 손 동작을 대표할 수 있다고 볼 수 있었고, 느린 단계에서는 엄지의 각 관절 동작, 검지에서 소지까지의 외전 및 내전 동작, 엄지와 검지를 제외한 나머지 세 손가락의 PIJ 동작 그리고 엄지와 소지를 제외한 나머지 세손가락의 MPJ 동작 등 8개로 손동작을 나타낼 수 있

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

었다.

본 연구는 보다 실제 잡기 동작에 가까운 실험을 바탕으로 DIJ를 제외한 손의 모든 관절 동작 상관관계를 분석하여, 관절간 동작이 선형적 유형을 갖는 관절 관계를 파악하였고, 이를 바탕으로 잡기 단계에서의 특징 및 잡기 자세의 특징을 파악하였다. 또한, 잡기 동작 동안 비슷하게 같이 움직이는 관절들을 묶어 복잡한 손 동작을 몇 개의 변수로 표현할 수 있는 동작 요인을 제시하였다. 이의 결과는 잡기 동작에서 손 동작 인식과 손 동작 애니메이션의 효율성 향상과 손 동작의 정량적 분석 연구 등의 기초 자료로써 사용할 수 있을 것이다. 본 연구는 손 잡기 자세를 관절간의 상관관계를 바탕으로 하여 정량적으로 분류하는 방법을 연구 중 이며, 자연스러운 손 동작 모델의 구현을 위해서는, 잡기 단계를 기준으로 빠른 단계와 느린 단계 각각에서 관절간 동작 유형을 도출하는 연구가 필요할 것이다.

참고 문헌

Buchner, H.J., Hines, M.J. and Hemani, H., "A dynamic model for finger interphalangeal coordination", J. *Biomechanics*, 21(6), 459-468, 1988.

Darling, W.G., Cole, K.J. and Miller, G.F., "Coordination of index finger movements", J. *Biomechanics*, 27(4), 479-491, 1994.

Jeannerod, M., The neural and behavioral organization of goal-directed movement, *Oxford University Press*, NY, 1988.

Kessler, G.D., Hodges, L.F. and Walker, N., "Evaluation of the CyberGlove as a whole hand input device", *ACM Trans. On Computer-Human Interaction*, 2(4), 263-283, 1995.

Lien, C.C. and Huang, C.L., "Model-based articulated hand motion tracking for gesture recognition", *Image and Vision Computing*, 16, 121-134, 1998.

Mackenzie, C.L. and Iberall, T., Serial Order in Prehension: *The Grasping Hand*, North Holland: Amsterdam, 1994.

Nakamura, M., Miyawaki, C., Matsushita, N., Yagi, R. and Handa, Y., "Analysis of voluntary finger movement during hand tasks by a motion analyzer", *J. Electromyography and Kinesiology*, 8, 295-303, 1998.

Taha, Z., Brown, R. and Wright, D., "Modeling and simulation of the hand grasping using neural networks", *Med. Eng. Phys.*, 19(6), 536-583, 1997.

저자 소개

◈ **류태범**

포항공대 산업공학과 (학사, 석사)
현 포항공대 기계산업공학부(박사과정)
주요 관심분야 : Biomechanics, Hand Modeling, 제품설계

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

◈ 윤명환

서울대학교 산업공학과(학사, 석사)
Penn State University 산업공학과 (박사)
현 포항공대 산업공학과 부교수
주요 관심분야 : Biomechanics, Hand Modeling, 제품설계, 감성공학

논문접수일 (Date Received): 2001/4/6
논문게재승인일(Date Accepted): 2001/8/13

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.