

# 지각 불편도에 대한 외부 부하, 상지 자세의 영향

기 도 형

계명대학교 산업공학과

(2002. 9. 3. 접수 / 2002. 11. 15. 채택)

## Effects of External Load and Upper Extremity Postures on Perceived Discomfort

Dohyung Kee

Department of Industrial Engineering, Keimyung University

(Received September 3, 2002 / Accepted November 15, 2002)

**Abstract :** The purpose of this study was to quantitatively investigate the effects of external load and upper extremity posture on perceived discomfort. An experiment was conducted for measuring discomfort scores depending upon external loads and upper extremity postures, in which the free modulus and numeric estimate method of the magnitude estimation was adopted as a tool for obtaining discomfort ratings. The upper extremity postures were controlled by wrist flexion/extension, elbow flexion, shoulder flexion, and shoulder adduction/abduction. The results showed that all experimental variables except shoulder adduction/abduction were significant at  $\alpha=0.01$  or 0.05. The effect of external load was very much larger than that of upper extremity postures. Therefore, it is recommended that a new posture classification scheme taking effect of external load into consideration be developed for quantifying postural load.

**Key Words :** external load, postural load, discomfort, posture classification scheme

### 1. 서 론

최근 들어 근골격계질환이 매년 크게 증가하여 사회적으로 큰 문제로 떠오르고 있다. 산업 현장에서 문제가 되는 것은 작업관련성 근골격계질환(work related musculoskeletal disorders: WMSDs)으로, 신경, 힘줄(건), 근육 또는 이들이 구성하거나 지지하는 구조에 이상이 생기는 질환을 말한다<sup>1)</sup>. 증상은 전신에 나타날 수 있으나 하지(lower limb)보다는 주로 몸통, 어깨, 팔, 손 등에 많이 나타나는 것으로 알려져 있다<sup>2)</sup>. 근골격계질환의 발병에는 부적절한 자세, 인력취급(manual handling), 작업 강도, 정적 부하(static load), 반복적 작업, 진동, 스트레스, 추위, 동작의 속도나 가속도 등 여러 가지의 원인이 복합적으로 영향을 미치는 것으로 알려져 있다<sup>3)</sup>. 현재까지 관련 연구들의 대부분은 위의 여러 요인 중 부적절한 자세가 가지는 자세 부하(postural load)의 정량

화를 주로 다루고 있으며, 이를 위하여 Karhu et al.(1977)이 OWAS를 개발한 이래 여러 자세 분류 체계(posture classification scheme)가 개발되어 있다. 기존의 자세 분류 체계들 중 OWAS, RULA<sup>5)</sup>, PLIBEL<sup>6)</sup>, REBA<sup>7)</sup> 등에서는 외부 부하(external load), 자세 지속 시간 등의 요소가 고려되어 있으나, 그 분류 구간이 너무 단순하거나 커 실제 외부 부하의 크기를 제대로 반영하지 못하고 있다. Carey와 Gallwey(2002)는 가하는 힘(exertion)의 크기가 불편도에 가장 큰 영향을 미치며, 다음으로 손목 굴곡, 신전, 편향 동작, 그리고 작업 보조(pace) 등의 순으로 영향을 미침을 밝히고 있어, 기존 자세 분류 체계를 이용하면 자세 부하를 정확히 평가할 수 없음을 알 수 있다. 그리고, 이 연구에서도 자세가 손목 자세에 의해서만 조절되어 여러 인체 부위가 사용되는 일반적인 작업 자세의 평가에는 한계가 있다.

따라서, 본 연구에서는 외부 부하의 영향을 좀 더 포괄적으로 파악하기 위하여, 상지(upper extremity) 자세, 즉 어깨, 팔꿈치, 손목 동작과 외부 부하가 주

dhkee@kmu.ac.kr

관적 불편도에 미치는 영향의 크기를 실험을 통하여 측정·조사하고자 한다. 주관적 불편도가 신체 부위의 통증, 상해(injury)의 전조(precursor)로 나타나고, 작업 부하를 올바르게 평가할 수 있는 척도로 사용될 수 있는 것으로 알려져 있어<sup>9)</sup>, 본 연구의 결과는 작업 설계 단계에서 근골격계질환의 예방을 위한 기초 자료로 활용되거나 기존 작업의 부하를 평가하는 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 방법

### 2.1. 피실험자

본 연구의 지각 불편도 측정 실험에는 근골격계 질환의 병력이 없는 건강한 남자 대학생 13명이 참여하였으며, 피실험자들의 연령, 신장, 체중 등의 평균과 표준편차는 다음과 같다: (1) 연령  $-25.0 \pm 0.8$  세; (2) 신장  $-174.8 \pm 4.2\text{cm}$ ; (3) 체중  $-67.7 \pm 9.3\text{kg}$ . 실험에 참여한 피실험자에게는 실험 수행 시간에 비례하게 수당을 지불하였다. 실험 전에 모든 피실험자들에게 실험의 전체적인 내용을 설명하였으며, 실험 중에 상해의 위험이 있다고 판단될 때에는 언제든지 실험을 중단할 수 있음을 알렸다.

### 2.2. 실험 계획

본 연구에서는 상지 자세와 외부 부하의 크기에 따른 불편도의 크기를 측정한다. 이를 위하여 손목 굴곡/신전, 팔꿈치 굴곡, 어깨 굴곡, 내전/외전 등의 동작으로 상지 자세를 생성하였으며, 상지 자세와 외부 부하의 수준은 다음 Table 1에 정리되어 있다. 상지 자세와 외부 부하의 크기는 산업 현장의 자세 관찰과 실험실에서의 예비 실험을 통하여 가능한 자세와 손으로 쥐고서 지탱할 수 있는 크기의 부하가 되도록 결정하였다. 그리고, 어깨 굴곡에서 가장 낮은 수준을 중립( $0^\circ$ )으로 할 경우, 몸통에 가려 어깨 내전 동작을 취할 수 없기 때문에 내전 동작이 가능하도록  $10^\circ$ 로 하였다. Table 1에 나와 있는 실험 변수와 수준을 대상으로 실험을 full factorial design으로 할 경우, 피실험자당 실험 회수가 1024회에 달하여 현실적으로 실험을 수행하기 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 품질관리에서 많이 사용되고 있는 직교배열표 중 L32를 채택하여 실험 회수를 32회로 줄였다. 기존 연구에서 자세와 외력(force)의 크기간의 교호작용은 없는 것으로 알려져 있어<sup>10,11)</sup>, 본 연구에서는 Table 1에 나와 있는 변수들간의 교호작용

Table 1. Experimental factors and their levels

실험 요인	요인의 수준
외부 부하	0.0, 1.5, 3.0, 5.0 kg
손목 굴곡/신전	$-25^\circ$ (신전), $0^\circ$ , $20^\circ$ , $30^\circ$
팔꿈치 굴곡	$0^\circ$ , $30^\circ$ , $60^\circ$ , $100^\circ$
어깨 굴곡	$10^\circ$ , $45^\circ$ , $90^\circ$ , $140^\circ$
어깨 내전/외전	$-30^\circ$ (내전), $0^\circ$ , $30^\circ$ , $60^\circ$

은 고려하지 않고 주요인(main effect)만을 L32 직교배열표에 배열하였다.

각 실험 변수의 조합에 대한 불편의 크기는 다양한 정량적 통계 분석이 가능한 ratio scale 혹은 interval scale의 자료를 얻을 수 있는 심물리학적 방법인 magnitude estimation을 사용하였다. magnitude estimation 기법은 자극에 대한 피실험자의 주관적 느낌의 크기에 대한 기준을 제시하느냐의 여부에 따라 modulus method, free modulus method, absolute judgment 등으로 나누어진다<sup>12)</sup>. modulus method는 Borg's scale 등과 같이 느낌의 크기에 대한 기준을 제시하며, free modulus method에서는 어떠한 기준도 제시하지 않은 상태에서 피실험자들 자신의 고유의 scale을 사용하여 느낌의 크기를 첫 번째 제시되는 자극의 크기에 대한 상대적 크기로 답하게 한다. Absolute judgment는 modulus method와 같이 기준의 제시없이 피실험자가 자극에 대한 느낌의 크기를 절대적 크기로 판단하는 방법을 말한다. 일반적으로 자극의 크기에 대한 주관적 응답을 구하고자 할 때 자극에 대한 느낌의 크기에 대한 기준을 제시하는 것보다 제시하지 않는 것이 편향(bias)을 유발하지 않으며, 대부분의 피실험자들이 자신의 기준으로 자극의 크기를 평가할 수 있는 것으로 알려져 있다<sup>12)</sup>. 그리고, magnitude estimation 기법에서는 자극에 대한 느낌의 크기를 나타내기 위하여 소리의 크기, 진동 주파수, 숫자, 선의 길이 등 다양한 종속변수를 사용하고 있으나, 이 중 자극에 대한 느낌의 크기를 숫자로 나타내는 numeric estimate 기법과 선의 길이로 표현하는 line production 기법이 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 magnitude estimation 기법 중 free modulus method와 numeric estimate 기법을 채택하여, 주어진 실험 처치(treatment)에 대한 불편의 정도를 피실험자 자신의 scale을 이용하여 숫자로 답하게 하였다.

### 2.3. 실험 절차

주어진 자세에 대한 불편 정도를 측정하는 실험을 수행하기 전에, 피실험자들이 magnitude estimation

을 수행할 능력이 있는 지를 검정하는 calibration test를 수행하였다. calibration test에서는 선(line)으로 된 자극과 숫자로 된 자극을 각각 10개씩 제시하여, 피실험자로 하여금 선 자극에는 숫자로, 숫자 자극에는 선의 크기로 자신의 주관적 느낌의 크기를 답하게 하였다. 자극과 이에 대한 피실험자의 응답의 크기를 log 변환한 후 단순회귀분석을 실시하여, 기울기가 1.0을 만족하는 지를 검정하여 피실험자가 magnitude estimation을 수행할 능력이 있는 지를 검정하였다<sup>12)</sup>. 본 연구에서는 15명의 피실험자가 calibration test에 참여하였으나, 2명의 피실험자는 magnitude estimation을 수행할 능력이 없는 것으로 판정되어 본 실험(main experiment)에는 제외하였다.

본 실험에서는 32개의 실험 처치에 대한 불편도의 크기를 magnitude estimation의 free modulus method와 numeric estimate 기법을 이용하여 측정하였으며, 각 피실험자에게 32개의 처치를 random하게 제시하였다. 피실험자가 주어진 자세를 취한 다음 외부 부하를 손에 쥐고 자세를 20초 동안 유지하도록 하였으며, 실험간에는 5분 이상의 휴식 시간을 주었다. 본 연구에서 자세 유지 시간을 20초로 한 것은 30초, 1분간 유지한 자세에 대한 부하는 기존 연구들에서 다루어졌으며<sup>13,14,15)</sup>, 실제 작업 자세를 관찰하여 보면 기존 연구에서 사용한 시간과 같이 길게 유지되는 자세는 극히 찾아보기 힘들기 때문에 이들 시간보다 좀 더 짧은 유지 시간에 대한 연구를 하기 위함이었다. 2명의 피실험자가 한 실험 session에 같이 참여하여 번갈아 가며 실험을 수행하도록 하였으며, 한 피실험자에 대한 실험은 3일에 걸쳐 나누어 실시하였다.

### 3. 결 과

본 연구에서는 불편도의 크기를 magnitude estimation의 free modulus 방법을 사용하여 측정하였기 때문에, 불편 정도의 rating 시 피실험자마다 다른 scale을 사용하여 이를 통일하는 변환 과정이 필요하다. 본 연구에서는 max-min transformation을 사용하였으며 그 식은 다음과 같다. 변환은 각 피실험자별로 실시하였으며 변환 후에 각 실험 처치에 대한 13명의 피실험자의 평균을 구하여 이를 추후 분석에 사용하였다.

$$\text{정규화 불편도} = \frac{\text{raw data} - \text{최소불편도}}{\text{최대불편도} - \text{최소불편도}} \times 100$$

여기서, 최대 불편도와 최소 불편도는 각 피실험자별 최대와 최소 불편도를 말한다.

### 3.1. 분산분석

본 연구에서 설정한 독립 변수, 즉 외부 부하, 손목 굴곡/신전, 팔꿈치 굴곡, 어깨 굴곡과 내전/외전이 지각 불편도의 크기에 미치는 영향의 정도를 알아보기 위하여, SAS v8을 이용하여 분산분석을 실시하였다 (Table 2). 표에서 보는 바와 같이 어깨 내전/외전을 제외한 다른 독립 변수는 모두 유의수준 1% 혹은 5%에서 지각 불편도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 지각 불편도에 대한 외부 부하의 영향이 다른 상지 자세 변수들에 비하여 매우 크게 나타났으며, 다음으로 손목 굴곡/신전, 팔꿈치 굴곡, 어깨 굴곡 등의 순서로 나타났다. 외부 부하를 제외한 상지 자세가 지각 불편도에 미치는 영향의 크기는 서로 차이를 보였으나, 그 차이는 크지 않았다.

### 3.2. 외부 부하

외부 부하의 크기에 따른 지각 불편도는 다음 Fig. 1에 나와 있으며, 외부 부하가 커짐에 따라 지각 불편도가 거의 선형적으로 증가함을 보이고 있다. 이는 Fig. 1에 나와 있는 회귀식의 R<sup>2</sup> 값이 거의 1.0에 가까운 사실에서도 알 수 있다. 또한, 직선 회귀식의 기울기가 커 외부 부하가 한 단위 증가할 때마다 불편도가 크게 증가함을 알 수 있다.

Table 2. ANOVA results

독립 변수	자유도	Mean square	F value
외부 부하	3	1832.06	108.27**
손목 굴곡	3	115.59	6.83**
팔꿈치 굴곡	3	81.27	4.80*
어깨 굴곡	3	74.39	4.40*
어깨 내전/외전	3	30.32	1.79
Error	16	16.92	

\*: significant at  $\alpha=0.05$ ; \*\*: significant at  $\alpha=0.01$ .

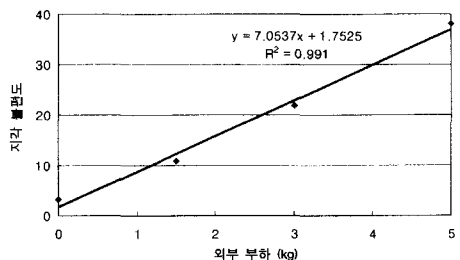


Fig. 1. Relationship between external load and discomfort

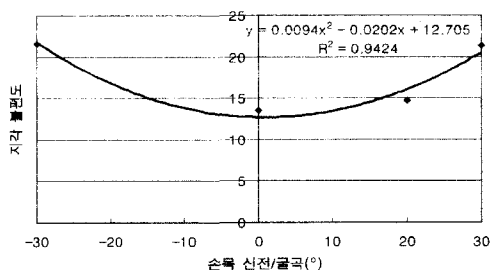


Fig. 2. Relationship between wrist motion and discomfort

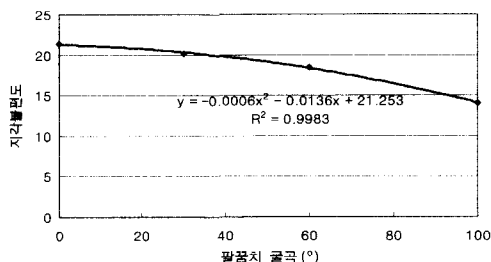


Fig. 3. Relationship between elbow motion and discomfort

### 3.3. 손목 동작

손목에서는 굴곡과 신전 동작을 대상으로 불편도를 측정하였으며, 그 결과는 Fig. 2에 나와 있다. 굴곡과 신전은 같은 평면에서 동작이 일어나므로 하나의 그림에 같이 나타내었으며, 중립에서 멀어질수록 지각 불편도가 증가함을 보이고 있다. 지각 불편도는 2차 함수, 즉 포물선의 형태를 나타내고 있으며, 굴곡과 신전 동작에 대한 불편도의 증가 정도가 비슷함을 볼 수 있다.

### 3.4. 팔꿈치 동작

팔꿈치 동작에서는 굴곡 동작이 커짐에 따라 지각 불편도가 조금씩 감소함을 보이고 있다 (Fig. 3). 외부 부하나 손목 동작에 비하여 동작 수준에 따른 지각 불편도의 변화 정도가 작으며, 포물선의 2차 함수로 잘 fitting됨을 알 수 있다.

### 3.5. 어깨 동작

어깨에서는 굴곡, 내전/외전 동작을 실험 변수로 하였으나, 분산분석에서 내전/외전 동작은 지각 불편도에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 여기에서는 제외하였다. 굴곡 동작에 대한 지각 불편도는 굴곡 수준이 증가함에 따라 완만하게 증가하는 추세를 보이고 있으며, 그 증가 경향은 log 함수로 잘 표현됨을 나타내고 있다 (Fig. 4). 즉, 중립

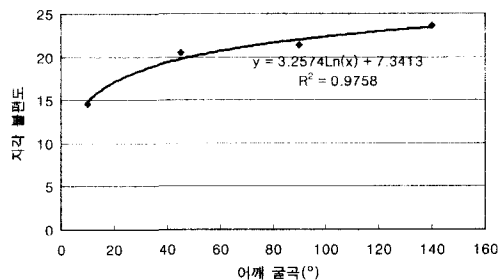


Fig. 4. Relationship between shoulder motion and discomfort

자세에서 굴곡이 일어나 중립 자세에서 멀어지는 초기 구간에서는 지각 불편도의 증가폭이 크나, 굴곡 수준이 증가할수록 지각 불편도의 증가 정도가 작아짐을 보이고 있다.

## 4. 토의 및 결론

본 연구에서는 외부 부하, 상지 자세에 따른 지각 불편도를 실험을 통하여 측정·조사하였다. 상지의 자세는 손목 굴곡/신전, 팔꿈치 굴곡, 어깨 굴곡, 어깨 내전/외전 등의 관절 동작으로 조절되었다. 위와 같은 독립 변수 중 어깨 내전/외전 동작은 지각 불편도에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 분산분석에서 나타났으며, 외부 부하의 영향이 상지 자세를 나타내는 변수들에 비하여 매우 큼을 보였다.

외부 부하의 영향이 자세 요인에 비하여 크게 나타난 본 연구의 결과는, 힘, 각속도, 가속도 등의 위험 요인 요소에 비하여 자세의 영향이 미미하다고 주장한 Marras와 Schoenmarklin(1993)의 연구 결과와 일치한다. 그리고, 작업 자세 부하의 효율적 측정 혹은 정량화를 위하여 많이 사용되고 있는 대부분의 자세 분류 체계들은 외부 부하의 영향을 반영하고 있지 않거나, 외부 부하를 고려한 일부 체계들도 외부 부하의 분류 구간 폭이 커 외부 부하를 제대로 평가하지 못하고 있는 실정을 감안하면, 기존의 자세 분류 체계들은 자세, 외부 부하 등을 함께 고려하는 자세 부하를 과소평가(underestimate)하고 있다고 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 나타난 바와 같은 결과를 고려하여 외부 부하의 영향이 충분히 반영될 수 있는 새로운 자세 분류 체계의 개발이 필요하다 하겠다.

자세 부하의 측정을 위하여 가장 많이 사용되고 있는 자세 분류 체계 중의 하나인 RULA에서는 팔

꿈치 동작을 0-60°와 100° 이상, 그리고 60-100° 사이의 2 구간으로 나누고 있다. 즉, 60-100° 구간이 팔꿈치 굴곡 동작에서 자세 부하가 가장 작고 이 구간을 벗어날수록 부하가 증가하는 것으로 제시하고 있다. 본 연구에서도 중립 자세(팔을 수직 하방으로 늘어뜨린 자세)에서 멀어질수록, 즉 굴곡 동작이 크게 일어날수록 지각 불편도가 감소하는 경향을 보여 (Fig. 3), 팔꿈치 굴곡각이 100°가 넘는 범위는 본 연구에서 다루어지지 않았으나 100° 범위 내에서는 RULA의 결과와 대체로 일치함을 보였다. 그러나, 팔꿈치 굴곡 동작의 정도가 커질수록 지각 불편도도 커짐을 보인 Kee와 Karwowski(2001)의 연구 결과와는 차이를 보이고 있다. 이는 Kee와 Karwowski(2001)의 연구에서는 손목, 팔꿈치, 어깨 동작 등으로 생성된 다자유도 동작과 외부 부하를 고려한 본 연구와 달리, 외부 부하 없이 다른 관절 동작은 중립으로 하고 팔꿈치 굴곡 동작만을 달리하면서 실험을 수행하여 실험 조건이 달랐기 때문으로 추정된다. 즉, 외부 부하와 다자유도 동작에 대한 지각 불편도와 1자유도 동작만의 불편도가 차이를 보인다고 할 수 있다. 이러한 차이는 자세 분류 체계의 개발에 매우 중요하므로 추후 이에 대한 심도 있는 연구가 요망된다.

본 연구에서 상지 자세와 외부 부하의 조합에 따른 실험 처치에 대한 불편 수준을 측정하기 위하여 사용한 magnitude estimation에 의하여 얻어진 자료는 Borg's scale을 사용하여 구한 자료와 매우 비슷한 크기와 경향을 보이는 것으로 알려져 있다<sup>17)</sup>. Magnitude estimation에 의한 자료는 다른 지역에서 다른 피실험자로부터 얻은 자료와 직접적인 비교가 가능하며, 다양한 정량적 통계적 분석이 가능한 interval 혹은 ratio scale의 특성을 가지고 있어, 전통적 category scaling 방법에 비하여 분석 시 유효성이 높아 다른 심물리학적 방법에 비하여 장점이 있다 하겠다<sup>12,18)</sup>.

감사의 글 : 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2002- 000122-0)지원으로 수행되었음.

### 참고문헌

1) 한국산업안전공단, 근골격계 장해예방, 한국산업안전공단, 2000.  
 2) D. MacLeod, The office ergonomics kit, Lewis

Publishers, New York, 1999.  
 3) A. Kilbom, "Assessment of physical exposure in relation to work-related musculoskeletal disorders-what information can be obtained from systematic observations?," *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, Vol. 20, pp. 30-45, 1994.  
 4) O. Karhu, P. Kansil, I. Kuorinka, "Correcting working postures in industry: A practical method for analysis," *Applied Ergonomics*, Vol. 8, No. 4, pp. 199-201, 1977.  
 5) L. McAtamney, E.N. Corlett, "RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders," *Applied Ergonomics*, Vol. 24, No. 2, pp. 91-99, 1993.  
 6) K. Kemmlert, "A method assigned for the identification of ergonomic hazards - PLIBEL," *Applied Ergonomics*, Vol. 26, No. 3, pp. 199-211, 1995.  
 7) S. Hignett, L., McAtamney, "Rapid entire body assessment (REBA)," *Applied Ergonomics*, Vol. 31, pp. 201-205, 2000.  
 8) E.J. Carey, T.J. Gallwey, "Effects of wrist posture, pace and exertion on discomfort," *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 29, pp. 85-94, 2002.  
 9) E.N. Corlett, R.P. Bishop, "A technique for assessing postural discomfort," *Ergonomics*, vol. 19, pp. 175-182, 1976.  
 10) C-H. Kim, J.E. Fernandez, "Psychophysical frequency for a drilling task," *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 12, pp. 209-218, 1993.  
 11) M.L. Lin, R.G. Radwin, S.H. Snook, "A single metric for quantifying biomechanical stress in repetitive motions and exertions," *Ergonomics*, Vol. 40, No. 5, pp. 543-558, 1997.  
 12) G.A. Gescheider, *Psychophysics: Method, theory, and application*, Lawrence Erlbaum Associates, London, UK, 1985.  
 13) A. Genaidy, H. Barkawi, D. Christensen, "Ranking of static non-neutral postures around the joints of the upper extremity and the spine," *Ergonomics*, Vol. 38, No. 9, pp. 1851-1858, 1995.  
 14) A.M. Genaidy, W. Karwowski, "The effects of neutral posture deviations on perceived joint discomfort ratings in sitting and standing

- postures," *Ergonomics*, Vol. 36, No. 7, pp. 785-792, 1993.
- 15) D. Kee, W. Karwowski, "LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time," *Applied Ergonomics*, Vol. 32, pp. 357-366, 2001.
- 16) W.S. Marras, R.W. Schoenmarklin, "Wrist motions in industry," *Ergonomics*, Vol. 36, pp. 341-351, 1993.
- 17) M.K. Chung, I. Lee, D. Kee, "Assessment of postural load for lower limb postures based on perceived discomfort," *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 31, No. 1, pp. 17-32, 2003.
- 18) M. Lodge, *Magnitude scaling: Quantitative measurement of opinions*, Sage Publications, London, 1981.