

작업 자세 부하 평가를 위한 자세 분류 체계의 연구 현황 - 관측법을 중심으로

기 도 형

계명대학교 산업공학과
(2000. 3. 25. 접수 / 2000. 9. 22. 채택)

A Review of Postural Classification Schemes for Evaluating Postural Load - Focused on the Observational Methods

Do-Hyung Kee

Department of Industrial Engineering, Keimyung University
(Received March 25, 2000 / Accepted September 22, 2000)

Abstract : This study aims to review and assess the existing postural classification schemes used for evaluating postural loads in industry. The schemes can be classified into three categories: self-report, observational and instrument-based techniques depending upon how to record working postures. Of the three techniques, this study was mainly focused on the observational methods. The observational technique is most widely used in the industrial sites because it does not interfere with work, and is easy and simple to use and cost-effective without requiring the use of expensive equipment for estimating the angular deviation of a body segment from the neutral position. In spite of the usefulness and applicability, the techniques have some problems: 1) The existing observational techniques lack the consistency in the class limits of the motion categories in each body segment; 2) Most of them do not provide the post-analysis criteria needed to judge whether or not any posture is acceptable in view point of the postural load; and 3) They can not precisely evaluate the postural load for a given posture because the external loads and dynamic factors including acceleration, moment and force were not taken into consideration.

Key Words : musculoskeletal disorders, working posture, postural load, postural classification scheme

1. 서 론

작업과 관련된 근골격계 질환은 인간공학 및 산업안전 분야에서 주요 문제로 인식되어져 왔으며¹⁾, 우리나라에서도 인간공학 분야에서 많은 연구가 이루어져 오고 있으며 최근에는 한국산업안전공단을 중심으로 산업해해 감소를 위한 방안의 일환으로 이에 대한 관심이 높아지고 있다. 거북한 작업 자세와 근골격계 질환의 관계는 van Wely(1970) 이래로 여러 연구자들에 의하여 연구되어져 왔다^{2,3)}.

작업 자세와 근골격계 질환의 관계를 연구하거나 작업 자세 부하 측정을 통하여 작업을 개선하려면, 우선 작업 자세가 가지는 부하를 정확하게 측정

할 수 있는 방법이 있어야 한다. 이러한 작업 중의 자세 부하를 측정하기 위하여 여러 가지의 방법이 개발되어져 왔다. 대표적인 방법으로 설문지법^{4~7)}, 육안으로 자세를 관측하고 자세 분류 체계(postural classification scheme)로 자세를 기록하는 직접 관측법 혹은 video tape를 이용한 간접 관측법^{5~13)}, inclinometer, EMG(electromyography), electrogoniometer, electromagnetic device 등의 기기를 이용한 직접 측정법^{5,7,14)} 등을 들 수 있다.

Genaidy et al.(1994)은 1993년 이전에 발표된 자세 분류 체계 중 관측법들을 중심으로 정리하였으며¹⁵⁾, 김대성 등(1999)은 작업 자세와 들기 작업의 평가 도구들을 정리, 제시하였다¹⁶⁾. Genaidy et al.(1994)의 연구는 많은 관측법들을 정리하였으나, 이후에도 여러 방법들이 발표되었으며 각 방법들

dhkee@kmucc.kmu.ac.kr

을 방법별로 단순히 평면적으로 나열하여 분류 체계간 비교가 쉽지 않은 문제가 있다. 따라서, 본 연구에서는 현재까지 발표되어 있는 자세 분류 체계들을 분류 방법별로 정리한 Genaidy et al.(1994)의 연구와 달리, 주요 관절 동작에 대한 연구 현황 파악과 비교가 용이하도록 각 신체 부위별로 정리하여 제시하고자 한다. 또한, 이들 자세 분류 체계들의 분류 방법, 관측 방법과 작업 자세 평가 기준들을 정리하고, 자세 분류 체계들의 현황을 바탕으로 기존 분류 체계의 문제점을 정리하여 추후 연구 방향을 제시한다. 대부분의 기존 연구들이 관측법에 관한 것이므로 본 연구는 관측법을 중심으로 연구 현황을 정리하고자 한다.

2. 연구 내용

2.1. 분류 방법

자세 분류 체계는 일반적으로 2가지 방법, 즉 측정 방법 및 인체 동작의 분류 범위에 따라 분류된다. 측정 방법에 의한 분류법에는 설문지를 이용하는 자기 보고법(self-report technique), 기기를 사용하는 방법 (instrument-based technique) 혹은 직접 측정법 (direct measurement technique)과 육안으로 측정하는 관측법 (observational technique)이 있다^{15,17,18}. 설문지법은 사용이 용이하고 비용이 저렴하기 때문에 작업 자세 부하 조사뿐만 아니라 작업 활동과 관련된 다양한 물리적 부하에의 노출(physical exposure) 정도를 평가하는데 사용되어져 왔으나, 반복적 자세 부하, 빈도 및 부하의 지속시간 등을 평가하는 역학(疫學) 연구(epidemiological study)에서는 거의 사용되지 않았다¹⁷. 이러한 요소들은 설문지를 이용한 평가에서 실제보다 과대 평가되는 것으로 알려져 있다^{5,6}. 따라서, 설문지를 이용한 자기 보고법은 정밀한 세부 연구를 위한 선행 연구로써, 대단위의 집단에 대한 기초 조사를 위한 방법이라 할 수 있다.

측정 기기를 이용하는 직접 측정법은 기기를 몸의 일부에 부착하여 자세를 연속적으로 측정할 수 있으며, 이 방법에 의한 결과는 다른 방법에 비하여 정확하나 측정이 특정 신체 부위에 국한되며 비용이 비싸다는 단점이 있다. 또한, 기기를 부착하면 작업 자세에 영향을 줄 수 있으며, 작업자에게 불편을 초래할 수도 있다^{15,18}. 이에 속하는 것으로는 Nordin et al.(1984)¹⁹, Motion Analysis Corporation

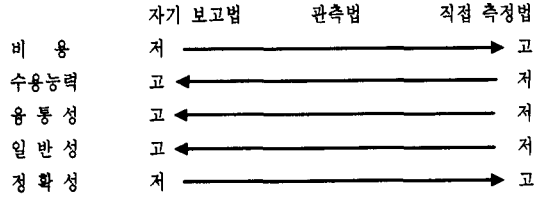


Fig. 1. Comparison of self-report, observational and direct measurement techniques

(1986)²⁰, Hsiao와 Keyserling(1990)²¹, Warren et al. (1994)²² 등이 제안한 것을 들 수 있다.

관측법은 실제 산업 현장에서 작업 자세 부하를 측정하기 위하여 가장 많이 사용되어 지고 있으며, 직접 측정법과 달리 작업자를 방해하지 않으며 고가의 장비를 사용할 필요가 없다. 반면에, 분석자가 작업 자세를 실시간 혹은 짧은 시간 내에 제대로 분류할 수 있도록 잘 훈련되어져야 한다. OWAS¹⁰, Armstrong et al.(1982)²³, Keyserling(1986)¹¹, VIRA²⁴, RULA¹², PLIBEL²⁵, PATH18, Kim et al.(1998)²⁶, 기도형(1998)²⁷, JT(Joshi-Ten)/ SJT(Shiseijuryo-Ten)²⁸ 등의 자세 분류 체계가 관측법에 속한다.

이상의 3가지 방법을 비용, 수용능력(capacity), 용통성(versatility), 일반성(generality) 및 정확도(exactness) 측면에서 비교하면, 다음 Figure 1과 같다. Figure 1에서 보는 바와 같이 자기 보고법에서 관측법, 직접 측정법으로 갈수록 비용은 많이 드나 정확도는 높아지며, 반대로 자기 보고법으로 갈수록 수용능력, 용통성 및 일반성은 좋아짐을 알 수 있다²⁹.

Genaidy et al.(1994)은 동작의 분류 범위에 따라 거시 자세 분류법(macropostural classification), 미시 자세 분류법(micropostural classification)과 자세-작업 활동 분류법(postural-work activity classification)으로 분류하였다¹⁵. 거시 자세 분류법은 한 관절(joint) 주위에서 일어나는 하나 이상의 비중립 자세(non-neutral posture)를 하나의 범주(category)로 분류하는 방법을 말한다. 하나의 예로, Keyserling(1986)의 방법에서는 어깨의 굴곡(flexion), 신전(extension), 내전(adduction)과 외전(abduction)을 elevation의 하나의 범주로 구분하는 것을 들 수 있다¹¹. 이 방법에는 OWAS¹⁰, Heinsalmi's expanded OWAS³⁰, Keyserling(1986, 1990)의 2가지 방법^{11,12}, PATH¹⁸, Kim et al.(1998)의 분류 방법²⁶, JT/SJT²⁸ 등이 속한다. 미시 자세 분류법은 각 관절에서 일어나는 각각의 자유도(degree of freedom) 동작을 몇

개의 범주로 나누는 방법이다. 예를 들어, VIRA에서는 목의 굴곡 동작을 0-20°와 20° 이상의 2개의 범주로 나누고 있다²⁴⁾. 미시 자세 분류법에 속하는 것으로는 Posture Targetting⁸⁾, Armstrong et al.(1982)의 방법²³⁾, VIRA²⁴⁾, PEO³²⁾, TRAC¹³⁾, RULA¹²⁾, Genaidy et al.(1993)의 방법⁹⁾, PLIBEL²⁵⁾, 기도형(1998)의 방법²⁷⁾ 등을 들 수 있다. 자세-작업 활동 분류법은 자세와 작업 활동을 결합하여 분류하는 방법이다. 예를 들어, Foreman과 Troup(1987)의 kneel lift, lean forward lift 등과 같이 분류하는 것을 말하며³³⁾, 이에 속하는 방법으로는 AET³⁴⁾, Baty et al.(1986)⁵⁾, Foreman과 Troup(1987)³³⁾, Ryan(1989)의 방법³⁵⁾ 등을 들 수 있다.

2.2. 관절별 자세 분류 범주

여기에서는 기존에 발표되어 있는 자세 분류 체계의 각 동작 그룹의 분류 구간을 관절별로 정리한다. 이와 같이 동작이 일어나는 주요 관절별로 분류하면 기존 자세 분류 체계들의 자세 분류 구간들의 현황 파악과 비교가 용이하다는 장점이 있다.

2.2.1. 손가락

Armstrong et al.(1982)은 pulp grasp, medial grasp, pulp pinch, lateral pinch, palm pinch, finger press 등의 6 수준(level)으로 손가락 동작을 분류하였으며²³⁾, HandPEO에서는 whole-hand grip과 fingertip grip으로 분류하고 있다³²⁾. Genaidy et al.(1994)은 원래의 OWAS에는 없지만 OWAS의 자세 분류 방법을 응용하여 power grip과 precision handling으로 분류할 수 있음을 제시하였다¹⁵⁾. 여기서, precision handling은 다양한 형태의 pinch grasp, 즉 tip pinch, palmar pinch, lateral pinch와 pulp pinch를 포함한다. JT에서는 손가락과 손목 동작을 하나의 분류 체계에 포함하고 있으며, 손가락 동작에 해당하는 것으로 finger press와 pinch/pick을 제시하고 있다²⁸⁾. Armstrong et al.(1982), HandPEO와 JT를 제외한 자세 분류 방법에서는 손가락 동작의 분류는 찾아볼 수 없다.

2.2.2. 손목

손목 동작의 분류 방법은 Table 1에 정리되어 있으며, Table 1에서 보는 바와 같이 거시 자세 분류법에는 손목 동작에 대한 분류가 없고 몇 개의 미시 자세 분류법에서만 다루고 있다. Armstrong et al.(1982), Genaidy et al.(1993), Kim et al.(1998)과 기도

Table 1. Classification of wrist motions

동작	자세 분류
굴곡	Armstrong et al.(1982): 0-25°, 25-50°, >50° Genaidy et al.(1993): 0-15°, 16-45°, >45° RULA: 0-15°, >15° Kim et al.(1998): 0-20°, 20-50°, >50° 기도형(1998): 0-20°, 20-60°, >60°
신전	Armstrong et al.(1982): 0-15°, 16-45°, >45° Genaidy et al.(1993): 0-15°, 16-45°, >45° RULA: 0-15°, >15° Kim et al.(1998): 0-20°, 20-50°, >50° 기도형(1998): 0-20°, 20-45°, >45°
요골편향	Armstrong et al.(1982): 요골편향 >0° Genaidy et al.(1993): 요골편향 >0° RULA: 요골편향 >0° 기도형(1998): 0-10°, 10-30°, >30°
측골편향	Armstrong et al.(1982): 측골편향 >0° Genaidy et al.(1993): 측골편향 >0° RULA: 측골편향 >0° 기도형(1998): 0-10°, 10-20°, >20°
기타	PLIBEL: uncomfortable hand position JT: palm press, palm push, feel(touching), handle (turning & manipulating or working with hands)

형(1998)의 방법은 굴곡과 신전 동작을 3 범주로 나누고 있으며, 15-20°와 45°가 구간의 경계값으로 사용되고 있다^{9,23,26,27)}. Armstrong et al.(1982), RULA와 Genaidy et al.(1993)은 요골편향과 측골편향을 단순히 이러한 동작이 일어나는지의 여부만으로 구분하고 있으며^{9,12,23)}, 기도형(1998)은 이를 다른 자유도 동작과 같이 3 구간으로 나누고 있다²⁷⁾. Posture Targetting은 손목 동작을 여러 개의 동심원 상에 45° 간격으로 표시하게 하였고⁸⁾, PLIBEL은 손이 불편한 위치(uncomfortable hand position)에 있는지를 check하게 하고 있다²⁵⁾. JT에서는 palm press, palm push, feel(touching), handle (turning & manipulating or working with hands)의 4 가지의 손목 동작을 제시하고 있다²⁸⁾.

2.2.3. 팔꿈치

Armstrong et al.(1982)은 굴곡 동작이 일어나는지의 여부만(>90°)을 구분하였고, 신전은 45°를 경계로 2 구간으로 나누었다²³⁾(Table 2). Genaidy et al.(1993)은 굴곡/신전을 <60°, 60-120°(neutral), >120°, RULA는 0-60°, 60-100°(neutral), >100°의 3 구간으로 나누어 두 번째 구간을 중립(neutral) 자세로 보아 부하가 가장 작은 것으로 제시하였다¹⁵⁾. 기도형(1998)도 Armstrong et al.(1982), Genaidy et al.(1993),

Table 2. Classification of elbow motions

동작	자세분류
굴곡	Armstrong et al.(1982): >90° Genaidy et al.(1993): 90-120°, >120° RULA: 90-100°, >100° 기도형(1998): 90-120°, >120°
신전	Armstrong et al.(1982): 0-45°, 46-90° Genaidy et al.(1993): 0-60°, 60-90° RULA: 0-60°, 60-90° 기도형(1998): 0-45°, 45-90°
supination	Armstrong et al.(1982): 0-35°, >35° Genaidy et al.(1993): 0-15°, >15° 기도형(1998): 0-90°, >90°
pronation	Armstrong et al.(1982): 0-30°, >30° Genaidy et al.(1993): 0-15°, >15° 기도형(1998): 0-70°, >70°

RULA와 같이 0-45°, 45-120°, >120°의 3 구간으로 나누었으나, 굴곡/신전을 하나의 동작으로 간주하여 0-45° 구간이 중립 자세로 부하가 가장 작고, 굴곡/신전 동작이 이보다 더 크게 일어날수록 부하가 커지는 것으로 제시하여 다른 방법과 차이를 보였다²⁷⁾. Armstrong et al.(1982), Genaidy et al.(1993), 기도형(1998)은 supination은 15°, 35°, 90°를 경계로, pronation은 15°, 30°, 70°를 경계값으로 하여 2 구간으로 나누고 있다. PLIBEL에서는 twisting movement와 forceful movement의 동작을 제시하고 있다. RULA에서는 팔이 몸의 중심선을 넘어 반대편에 놓이게 되면 자세 점수(posture score)가 1만큼 증가하여 자세 부하가 커짐을 보이고 있다.

2.2.4. 어깨

어깨 굴곡은 3 구간(VIRA) 혹은 4 구간(Armstrong et al., 1982; RULA; 기도형, 1998)으로 나누고 있으며, PEO, OWAS에서는 한 손 혹은 양손이 어깨 높이 위에 있는가에 따라서 구분하고 있다(Table 3). 신전은 Armstrong et al.(1982), VIRA에서는 신전 동작이 일어나는 지의 여부에 따라서 나누고 있으며, Genaidy et al.(1993)과 RULA에서는 2 구간으로, 그리고 기도형(1998)은 이를 세분하여 4 구간으로 분류하고 있다. 내전 동작은 2 구간^{9,23)} 혹은 3 구간²⁷⁾으로 나누고 있으며, VIRA, OWAS, RULA에서는 팔이 지지되고 있는가, elevation 동작이 있는가 혹은 어깨 높이 위에 양손이 놓여 있는가에 따라서 구분하고 있다. Armstrong et al.(1982), VIRA에서는 외전을 4 구간으로, 기도형(1998)의 방법에서는 3 구간으로 구분하고 있으며 그 경계값들도 차이를

Table 3. Classification of shoulder motions

동작	자세분류
굴곡	Armstrong et al.(1982): 0-45°, 46-90°, 90-135°, >135° VIRA: 0-30°, 31-60°, >60° PEO: hand below shoulder height, hand above shoulder height without hand tool, hand above shoulder height with hand tool OWAS: hand at/below shoulder height both hands, hand at/above shoulder height one hand, hand above shoulder height both. RULA: 0-20°, 20-45°, 45-90°, >90° 기도형(1998): 0-45°, 45-90°, 90-150°, >150°
신전	Armstrong et al.(1982): >0° VIRA: >0° Genaidy et al.(1993): 0-15°, >15° RULA: 0-20°, >20° 기도형(1998): 0-20°, 20-45°, 45-60°, >60°
내전	Armstrong et al.(1982): 0-10°, >10° Genaidy et al.(1993): 0-15°, >15° VIRA: hanging/supported or with elevation, without elevation OWAS: hand at/above shoulder height both hands RULA: arm supported 기도형(1998): 0-10°, 10-30°, >30°
외전	Armstrong et al.(1982): 0-45°, 45-90°, 90-145°, >145° VIRA: 0-30°, 30-60°, 60-90°, >90° PEO: hand below shoulder height, hand above shoulder height without hand tool, hand above shoulder height with hand tool OWAS: hand at/above shoulder height one hand, hand above shoulder height both hands RULA: >0° or with elevation 기도형(1998): 0-30°, 30-90°, >90°
내선	Armstrong et al.(1982): 0-45°, >45° RULA: >0° 기도형(1998): 0-30°, 30-90°, >90°
외선	Armstrong et al.(1982): >0° RULA: >0° 기도형(1998): 0-10°, 10-30°, >30°
기타	TRAC: 0-60° elevation both hands, >60° elevation one hand, >60° elevation both hands, pulling up and down a pump rod of a pallet trolley Keyserling(1986): 0-45°, 46-90°, >90° Genaidy et al.(1993): 0-15°, 16-90°, >90° Kim et al.(1998): 0-45°, 45-100°, 100-145°, >145° PATH: both elbows below shoulder height, one elbow above shoulder height, both elbows above shoulder height JT: 3 가지의 reach up 자세, 4 가지의 reach forward 자세, reach down, 굴곡/신전, 회전(rotation)

보이고 있다. PEO와 OWAS는 정량적 경계값들을 제시하지 않고 손이 어깨 높이 위에 있는가 혹은 도구를 들고 있는가에 따라 외전을 분류하고 있다. 내

선(*medial rotation*)과 외선(*external rotation*)은 방법에 따라 구간의 수나 그 경계값들이 많은 차이를 보이고 있다.

그리고, Keyserling(1986)과 Kim et al.(1998)은 굴곡, 신전, 내전, 외전을 *elevation*의 하나의 동작으로 합하여 3 구간 혹은 4구간으로 나누었고, TRAC과 Genaidy et al.(1993)은 굴곡과 외전을 *elevation*으로 보고 3 구간으로 분류하여 다양한 어깨 동작을 분류하기 쉽게 하였다. 이러한 2 개 이상의 동작을 하나의 동작으로 간주한 것은 굴곡, 내전 혹은 외전이 동시에 일어나기 때문이다^{8,11,13}. *Posture Targetting*은 어깨 동작을 자유도별로 구분하지 않고 연속적인 방향에서 45°간격으로 나타낼 수 있도록 하는

*diagram*을 제시하고 있다. JT는 일본인을 대상으로 자세 점수(*posture point*)가 다른 3 가지의 *reach up*, 4 가지의 *reach forward*와 하나의 *reach down*, 굴곡/신전, 회전(*rotation*) 등의 7 가지의 팔 자세와 *twist factor*를 제시하였다.

2.2.5. 목

굴곡은 2 구간^{18,24,32} 혹은 3 구간^{9,11,12,26,27}으로 구분하고 있으며, PLIBEL은 굴곡 동작의 여부만으로 구분하고 있다. 신전, *lateral bending*, *rotation*은 굴곡에 비하여 동작범위가 작기 때문에 대부분 1 그룹 혹은 2 그룹으로 나누어져 구간 수가 굴곡에 비하여 적다. PATH에서는 처음에는 목 동작을 중립, 굴곡, *lateral bending*과 *twisting*의 4 가지로 구분하였으나, 방법의 타당성(*validity*) 및 신뢰성(*reliability*) 실험 과정에서 피실험자들이 굴곡, *lateral bending*, *twisting* 등의 3 가지 비중립 자세를 잘 구분하지 못하였기 때문에 아래 Table 4에 나타난 바와 같이 중립, 비중립의 2 가지로 분류하였다¹⁸. Kim et al.(1998)과 기도형(1998)은 굴곡, 신전, *lateral bending*, *rotation*을 각각 3 구간으로 나누고 있으며, 그 분류 경계도 유사함을 보이고 있다. Keyserling(1986), RULA, PLIBEL은 신전 동작의 발생 유무만으로 나누고 있으며, PLIBEL은 *rotation*을 구간 경계값의 제시없이 신전 동작이 있는가(*extended backwards*)에 따라 2 구간으로 나누고 있다. *Posture Targetting*은 굴곡, *lateral bending*에 대하여 45° 간격으로 동작을 기록할 수 있는 *diagram*을 제시하고 있다.

2.2.6. 등(back)

Keyserling(1986), Genaidy et al.(1993), PEO, TRAC, RULA, PATH 등에서 *mild flexion* 구간의 시작값이 15-20°로 5°의 차이만 보일 뿐 매우 비슷함을 보이고 있다(Table 5). TRAC, RULA, OWAS는 *lateral bending*과 *rotation* 동작의 발생 유무에 따라서 구분하고 있으며, Keyserling(1986)과 기도형(1998)은 앉은 자세와 선 자세별로 다른 분류 구간을 제시하고 있다. OWAS는 다른 방법과 달리 *bent*와 *twisting*이 결합된 자세의 분류를 제시하고 있으며, PLIBEL은 구체적 값의 제시없이 정성적 분류 방식을 택하고 있다. Kim et al.(1998)과 기도형(1998)은 시작 불편도에 대한 실험 결과에 근거하여 분류하였으며, 다른 방법들에 비하여 좀 더 세분화된 방식을 택하고 있다. 이 밖에 *Posture Targetting*도 등(*back*) 동작을

Table 4. Classification of neck motions

동작	자세 분류
굴 곡	VIRA: 0-20°, >20°
	Keyserling(1990): 0-20°, 21-45°, >45°
	Genaidy et al.(1993): 0-15°, 16-45°, >45°
	PE ^E): 0-20°, >20°
	RULA: 0-10°, 10-20°, >20°
	PLIBEL): >0°(<i>flexed f'ward</i>)
신 전	PATH: 0-30°, >30°
	Kim et al.(1998): 0-20°, 20-50°, >50°
	기도형(1998): 0-20°, 20-45°, >45°
	Keyserling(1990): >0°(<i>bent backwards</i>)
	Genaidy et al.(1993): 0-15°, >15°
	RULA: >0°
lateral bending	PLIBEL): >0°(<i>extended backward</i>)
	Kim et al.(1998): 0-20°, 20-50°, >50°
	기도형(1998): 0-30°, *30-60, >60°
	Keyserling(1990): >0°(<i>bent sideways</i>)
	Genaidy et al.(1993): 0-15°, >15°
	PEO: 0-45°, >45°
rotation	RULA: >0°
	PLIBEL): >0°(<i>bent sideways</i>)
	PATH: <30°, >30°
	Kim et al.(1998): 0-30°, 30-45°, >45°
	기도형(1998): 0-30°, 30-45°, >45°
	PEO: 0-45°, >45°
rotation	(<i>twisting</i>) RULA: >0°
	PLIBEL): <i>mildly twisted</i> , <i>severely twisted</i>
	PATH: 0-45°, >45°
	Kim et al.(1998): 0-30°, 30-45°, >45°
	기도형(1998): 0-30°, 30-60°, >60°
	PEO: 0-45°, >45°

Table 5. Classification of back motions

동작	자세분류
굴곡	Keyserling(1986): 0-20°, 21-45°, >45° - standing, 0-20°, >20° - sitting Genaidy et al.(1993): 0-15°, 16-45°, >45° PEO: 0-20°, 20-60°, >60° TRAC: 0-15°, 15-45°, 45-75°, >75° - standing OWAS: straight, bent RULA: 0-20°, 20-60°, >60° - standing 0-90°, >90° - sitting PLIBEL: mildly flexed f'ward PATH: 0-20°, 20-45°, >45° Kim et al.(1998): 0-30°, 30-60°, 60-90°, >90° 기도형(1998): 0-30°, 30-60°, 60-90°, >90° - standing 0-20°, 20-60°, >60° - sitting
	Keyserling(1986): 0-20°, >20° Genaidy et al.(1993): 0-15°, >15° PLIBEL: extended backwards Kim et al.(1998): 0-10°, 10-25°, >25° 기도형(1998): 0-10°, 10-20°, 20-30°, >30° - standing
lateral bending	Keyserling(1986): 0-20°, >20° -standing >0° - sitting Genaidy et al.(1993): 0-15°, >15° PEO: 0-45°, >45° TRAC: >0° RULA: >0° PLIBEL: >0°(bent sideways) PATH: 0-20°, >20°(+ flexi'n <20°) Kim et al.(1998): 0-30°, >30° 기도형(1998): 0-10°, 10-20°, 20-30°, >30°
	Keyserling(1986): 0-20°, >20° -standing >0° - sitting Genaidy et al.(1993): 0-15°, >15° OWAS: >0° (bent + twisting) RULA: >0° PLIBEL: mildly twisted, severely twisted PATH: 0-20°, >20°(+ flexion <20°), >20°(+ flexion >20°) Kim et al.(1998): 0-30°, >30° 기도형(1998): 0-20°, 20-60°, >60° - standing 0-20°, 20-30°, 30-45°, >45° - sitting
rotation (twisting)	Keyserling(1986): 0-20°, >20° -standing >0° - sitting Genaidy et al.(1993): 0-15°, >15° OWAS: >0° (bent + twisting) RULA: >0° PLIBEL: mildly twisted, severely twisted PATH: 0-20°, >20°(+ flexion <20°), >20°(+ flexion >20°) Kim et al.(1998): 0-30°, >30° 기도형(1998): 0-20°, 20-60°, >60° - standing 0-20°, 20-30°, 30-45°, >45° - sitting

45° 간격으로 기록할 수 있도록 하고 있다.

2.2.7. 하지(lower extremities)

하지 동작은 몸통, 상지 동작과 달리 구체적 자유도 동작별로 분류되지 않고 있기 때문에, 각 자세

Table 6. Classification of lower extremity motions

방법	자세분류
OWAS	loading on both limbs, straight, loading on one limb, straight, loading on both limbs, bent, loading on one limb, bent, loading on one limb, kneeling, body is moved by the limbs, both limbs hanging free
	sitting(normal, bent), standing(normal), kneeling(normal), crouching, standing/stooping, standing considerably stooped
Foreman and Troup (1987)	standing, sitting, lean forward, stooping, squatting, kneeling, walking, miscellaneous
Ryan(1989)	standing, walking, bending, twisting, kneeling, squatting, sitting
Baty et al. (1986)	standing, walking, squatting, sitting, kneeling, twisting, reaching, bracing, pushing, pulling, lifting, carrying, supporting
PLIBEL	repeated stepping up on stool, step, etc., repeated jumps, prolonged squatting or kneeling, one leg being used more often in supporting the body
PATH	knee flexion <35°(neutral), one foot not supported(one leg in air), at least one knee flexion >35°(leg bent), both knees flexion >90°(squatting), walking, at least one knee touching ground (kneeling), worker seated with feet below buttocks(sitting on chair), worker seated with feet at buttock height(sitting on ground), worker moving on hands and knees(crawling), worker supported by something(e.g., harness) other than legs(legs not supporting body)
Kim et al. (1988)	135-180°(neutral), 90-135°(half squat), <90°(squat), seated on proper seat, seated on improper seat, unbalanced
SJT	half sitting with deeply bent knees & upper body slightly bent forward, half sitting with deeply bent knees, straight knees & upper body deeply bent forward, straight knees & upper body slightly bent forward, complete curvature of back with straight knees, slight bending with standing posture, squatting posture, standing on tiptoes, slightly bent knees & upper body bent slightly forward, all others

분류 체계별로 분류 방식을 제시한다 (Table 6). OWAS에서는 한발 혹은 양발로 지탱하는가와 bent가 일어나는가에 따라 7 가지의 자세로 분류하고 있으며, PLIBEL은 작업 수행 방법에 따라 3 가지의 자세로 분류하고 있다. PATH는 OWAS의 분류 방식을 참조하여 원래 개발 목적인 건설업에 알맞게

수정하여 10 가지의 자세를, Kim et al.(1998)은 문헌 조사를 통하여 자동차 조립 공정 작업의 자세를 반영한 5 가지의 자세와 'unbalanced'의 adjusting factor를 제시하고 있다. Posture Targetting은 무릎과 발목 동작을 45° 간격으로 연속적인 방향 선상에 기록한다. AET, Baty et al.(1986), Foreman과 Troup(1987), Ryan(1989) 등은 자세-작업 활동 분류법에 해당하는 것으로, 각 자세에서 일어나는 작업 활동들을 병기하고 있다. SJT는 토요타 자동차에서의 일본인들의 작업 자세를 10 가지의 등(back)과 하지의 자세와 하나의 twist factor로 분류하였다²⁸⁾.

2.3. 관측 방법의 분류 및 비교

관측법은 자세를 육안으로 관측하고 수작업으로 기록하는 방법을 의미하며, 관측은 2 가지의 방법, 즉 연속 관측법(continuous observation)과 단속 관측법(intermittent observation)에 의하여 이루어진다¹⁵⁾. VIRA, Keyserling(1986, 1990) 등의 방법은 연속 관측법을 채택하고 있으며, OWAS, Baty et al.(1986), Foreman과 Troup(1987), Ryan(1989), Genaidy et al.(1993), RULA, PLIBEL, PATH, 기도형(1998) 등의 많은 방법에서 단속 관측법을 채택하고 있다.

연속 관측은 작업 자세가 사이클 마다 일관성이 있는 것이 아니고 수시로 빠르게 변한다는 가정을 하고 있으며, 작업 현장 혹은 video taping을 하여 실험실에서 실제와 같은 속도로 화면을 재생하여 관측한다. 각 자세에는 고유한 code가 부여되어 연속 관측이 용이하도록 하고 있으며, VIRA와 Keyserling(1986)은 컴퓨터를 사용하여 작업 자세를 기록하였다. 이 방법은 단속법에 비하여 모든 자세 변화를 기록할 수 있다는 장점이 있는 반면에, 자세를 기록하는데 많은 시간이 소요되는 단점이 있다.

단속법은 일정 시간 동안에 작업 자세를 연속적으로 sampling하여 관측하는 연속 sampling과 작업 자세 부하 측정 대상 작업의 대표적 세부 작업만을 sampling하여 관측하는 부분 sampling으로 나눌 수 있다. 연속 sampling은 작업관리에서 사용되는 일반적인 work sampling과 유사하다고 할 수 있으며, 관측 간격은 일정하게 하거나 random하게 할 수 있다. 그러나, OWAS, Baty et al.(1986), Ryan(1989), Genaidy et al.(1993), PATH 등의 대부분의 방법들은 일정한 간격(대부분의 경우 10 초 혹은 15 초)으로 자세를 관측하고 있으며, Posture Targetting은 random한 간격으로 작업 자세를 관측한다. 부분

sampling은 작업 시간의 많은 부분을 차지하는 세부 작업, 작업자나 관측자가 근골격계 질환을 유발할 가능성이 높다고 판단되는 세부 과제를 선택하여 작업 자세를 기록하는 방법을 말하며, RULA, PLIBEL, 기도형(1998) 등의 자세 분류 체계가 이 방법을 채택하고 있다. 연속법과 마찬가지로 작업 현장에서 직접 혹은 작업 자세의 video taping을 한 후 실험실에서 간접적으로 관측이 가능하다.

2.4. 작업 자세 부하의 평가 기준

자세 분류 방법을 이용하여 작업 자세를 분류하고 나면 다음으로 인간공학적 혹은 생체역학적 관점에서 자세 부하의 적절성 여부가 문제가 된다. 즉, 주어진 작업 자세가 인체 부위의 불편을 초래할 수 있는가, 혹은 근골격계 질환을 유발할 가능성이 있는지를 판단할 수 있어야 하며, 이를 근거로 작업의 재설계 여부를 결정하게 된다. Armstrong et al.(1982), VIRA, Keyserling(1986), Genaidy et al.(1993), PATH, PLIBEL 등의 대부분의 자세 분류 방법은 단지 자세 분류 체계만 제시하고 있으며, 분류된 자세의 적절성 여부를 판단할 수 있는 평가 기준(criteria)은 언급되어 있지 않다. 따라서, 이들 방법들로는 자세 부하가 적절한 범위 내에 있는가의 판단뿐만 아니라 다른 작업 자세와 부하를 비교하기도 어렵다.

반면, OWAS, RULA, 기도형(1998)의 방법과 JT/SJT에서는 자세 부하의 적절성 여부와 시정 조치의 시급성을 판단할 수 있는 기준을 제시하고 있다. OWAS는 불편도와 건강에의 영향 등의 관점에서 32 명의 경험 있는 철강 노동자들의 평가 점수를 국제적 인간공학자들의 평가 점수로 가중 평균한 점수를 바탕으로, 자세들을 4 가지의 범주로 시정 조치의 정도를 나누었다¹⁰⁾.

RULA는 상지의 자세 점수 (posture score A), 목, 몸통과 하지의 자세 점수 (posture score B)의 각 자세 점수에 근육 사용 점수 (muscle use score)와 외부 부하에 따른 부하 점수 (load score)를 고려한 점수 C, D의 조합에 따라 7점 scale의 grand score로 평가를 한 다음, 이 점수에 따라 4 가지의 action level를 제시하였다¹²⁾. 기도형(1998)은 Midedema et al.(1997)이 기존의 연구들에서 정리한 주어진 자세의 최대 지속시간(maximum holding time: MHT)³⁶⁾와 자세 분류에 근거하여 4 가지의 범주(category)를 제시하였다²⁷⁾.

JT/SJT에서는 상지의 부하(upper body burden)와 하지 부하(lower body burden)로 나누어 부하를 계산하였으며, 상지 부하는 어깨 동작에 대한 팔 부하(arm burden), 손가락과 손목에 의한 손 부하(hand burden), 손 힘(hand weight/force)과 도구 부하(tool burden)의 합으로 구하여 진다. 하지 부하는 자세 부하(posture burden)와 무게 부하(weight burden)의 합으로 구하여지며, 이들 부하 점수가 각각 25.0 이하이면 안전한 것으로 간주하고 있다²⁸⁾.

그러나, 이러한 분류 기준 하나만으로 복잡하고 조절력(adaptive)이 있으며 개인차가 큰 인체에 대한 자세의 부하를 평가하기는 어려우며, 이러한 기준은 더 상세한 혹은 심도 있는 추후 조사나 연구에 대한 하나의 guideline을 제시한다고 할 수 있다. 즉, 어느 작업 방법 혹은 자세가 시급한 조사나 변화 등이 필요한 지에 대한 우선 순위를 제공한다¹²⁾.

2.5. 대표적 관측법의 비교

이상에서 살펴본 여러 자세 분류 체계들 중 대표적인 것 몇 가지를 정리, 비교한 결과는 다음 Table 7에 나와 있다. OWAS, RULA, 기도형(1998)과 JT/SJT는 자세를 분류한 후 자세 부하를 평가하는 기준을 가지고 있어, 작업 자세 재설계의 기준으로 삼을 수 있다. PLIBEL은 자세를 분류하기 위한 checklist를 제공하고 있으며, JT/SJT는 부하 점수를 이용하여 자세 부하를 기록하고, 기타의 방법은 각 동작 혹은 자세마다 code를 부여하여 기록이 용이

하도록 하고 있다. Table 7에 제시된 적용 작업은 각 방법들이 개발될 당시 대상으로 한 작업을 나타내며, 이들 작업에 적용할 경우 해당 작업에서 발생할 수 있는 많은 자세를 포함하고 있어 적용이 쉬우나, 다른 작업에도 적용 가능하다.

2.6. 기존 자세 분류 체계의 한계

작업의 내용과 분석 목적에 따라 앞서 언급한 다양한 자세 분류 체계들을 선택하여 자세 부하를 측정하는 데 유용하게 사용할 수 있다. 특히, 관측법이나 자기 보고법을 사용하면 빠른 시간 내에 큰 비용의 투자 없이 많은 자세를 관측하여 그 자세 부하의 크기와 시정 조치의 필요성 정도를 파악할 수 있다. 그러나, 인간을 대상으로 하는 실험이 어렵고 자세 분류 구간을 뒷받침하여 줄 수 있는 재해사태 연구 등의 객관적 자료의 부족 등으로 인하여, 기존의 자세 분류 체계들은 여러 가지의 문제점들을 안고 있다. 주요한 문제점들을 정리하면 다음과 같다.

1) 자세 분류 구간에 대한 근거가 부족하고, 같은 동작에 대하여서도 자세 분류 체계에 따라 분류 구간이 다양하다. 대부분의 자세 분류 체계들은 문헌 조사 (Armstrong et al., 1982; Keyserling, 1986; Genaidy et al., 1993; PEO; RULA; PATH; PLIBEL; Kim et al., 1998), 간단한 생체역학적 계산 (VIRA), 주관적 평가에 따른 ranking system (Genaidy et al., 1993; Kim et al., 1998; 기도형, 1998; OWAS; RULA)에 근거하고 있다. 한 예로 팔꿈치 동작의 경우를

Table 7. Comparison of representative postural classification schemes

체 계	평가항목	분류범위	작업자세부하평가기준	관측 방법	기록 방법	적용 작업
OWAS	등, 팔, 하지	거시분류법	4 classes	단속법	code	철강업
VIRA	목, 상완	미시분류법	없음	연속법	code	전자산업
Keyserling(1986)	등, 상완	거시분류법	없음	연속법	code	자동차산업
Keyserling(1990)	등, 목, 팔, 하지	거시분류법	없음	연속법	code	전산업
RULA	등, 목, 팔, 손목, 하지	미시분류법	4 action levels	단속법	code	전산업
PLIBEL	등, 목, 손목, 하지	거시분류법	없음	단속법	checklist	전산업
PATH	등, 목, 팔, 하지	거시분류법	없음	단속법	code	건설업
기도형(1998)	등, 목, 팔, 손목	미시분류법	4 categories	단속법	code	전산업
Kim et al.(1998)	등, 목, 팔, 손목, 하지	거시분류법	없음	단속법	code	자동차산업
JT/SJT(1999)	등, 팔, 손목	거시분류법	부하점수<25	단속법	부하점수	자동차산업

보면, Armstrong et al.(1982), Genaidy et al.(1993), RULA는 Tichauer(1966, 1976)의 같은 문헌^{37,38)}에 근거하여 자세 분류 체계를 제시하였으나, 기존 연구 결과의 해석 방법에 따라 Table 2에서 보는 바와 같이 자세 분류 구간은 각기 다르다. 이는 기존 연구에서 역학적 노출(mechanical exposure)의 양을 측정할 때 일관성이 부족하기 때문이며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 역학적 노출의 양의 측정에 관한 국제적 표준화가 요구된다 하겠다³²⁾.

2) 자세 부하의 크기는 여러 가지 요인에 의하여 결정되나 현재의 대부분의 자세 분류 체계들은 정적 자세를 분석 대상으로 하고 있으며, 외부 부하(external load, weight), 속도(velocity), 가속도(acceleration), 모멘트(moment) 등의 동적 요소가 고려되어 있지 않다.

3) 역학적 노출의 양을 결정하는 3 요소, 즉 크기(level, magnitude), 반복(repetitiveness, frequency), 지속시간(duration)을 동시에 고려한 자세 분류 체계가 드물다. Winkel과 Westgaard(1992)는 물리적 부하와 어깨-목 질환의 관계를 다룬 39 개의 문헌 조사를 통하여, 31 개의 논문에서 노출의 크기를, 11 개의 논문에서 지속시간을, 10 개의 논문에서 반복 요소를, 그리고 단지 하나의 논문만이 3 가지의 요소를 동시에 고려하고 있음을 보였다³⁹⁾.

4) 관측법은 관련 인체 부위가 자세 분류 구간의 경계 값에 근접하지 않은 수평 혹은 수직축에 가까울 때, 분류 구간의 수가 적고 분류 구간의 범위(angular range)가 작지 않을 때, 그리고 제한된 작업 공간에 있는 정적 자세를 관측할 때에는 정확도가 높으나, 그렇지 않은 경우에는 관측의 신뢰성이 떨어진다.

5) 기존의 대부분의 자세 분류 체계는 짧은 주기의 반복적 작업, 무겁지 않은 물체를 다루는 작업의 분석에 적합하게 개발되어, 모든 작업의 분석에 포괄적으로 사용하기에는 문제가 있다.

6) 대부분의 자세 분류 체계는 몸통을 포함한 상지의 자세를 분류하는 방법을 다루고 있으나, 하지의 분류 방법에 대한 연구가 부족하며 이를 다루고 있는 방법도 하지 동작을 포괄적으로 포함하고 있어 정확한 하지 동작 부하의 평가가 어렵다. OWAS, RULA, PATH, Kim et al.(1998)의 방법과 AET, Baty et al.(1986), Foreman과 Troup(1987), Ryan(1989) 등의 자세-작업 활동 분류법에서 하지 동작에 대한 분류법을 다루고 있다.

7) OWAS, RULA, 기도형(1998)의 방법, JT/SJT를 제외한 대부분의 자세 분류 체계는 분류된 자세에 대한 자세 부하의 적절성 여부를 판단할 수 있는 기준이 없다. 대부분의 경우는 PATH와 같이 어떤 작업에서 어떤 자세가 어느 정도의 시간을 차지하는가에 대한 분포 자료만을 제시하고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 기존의 자세 분류 체계들을 살펴 보고 이들의 문제점을 제시하였다. 자세 분류 체계들은 산업 현장에서 일어나는 작업 자세 부하를 평가하는 데 유용한 도구로 사용되어질 수 있을 것으로 판단된다. 근골격계 질환이 좋지 못한 자세와 관련이 있음을 고려할 때, 본 연구에서 정리, 제시한 여러 기법들을 이용하여 측정된 작업 자세 부하는 산업 현장에서 작업 자세와 관련된 근골격계 질환의 예방에 일조를 할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나, 근골격계 질환에 영향을 미치는 기타의 중요한 요인인 힘, 모멘트, 가속도 등의 요인이 고려되지 않았기 때문에, 작업 자세가 가지는 정확한 부하를 평가하기는 어렵다. 따라서, 주요 연구들에서 언급되고 있는 바와 같이 기 개발되어 있는 자세 분류 체계는 근골격계 질환의 원인을 분석하는 하나의 도구 혹은 지침으로만 사용되어야 한다.

참고문헌

- 1) Armstrong, T. J., Buckle, P., Fine, L. J., Harberg, M., Jonsson, B., Kilbom, A., Kuorinka, I., Silverstein, B. A., Sjogaard, G. and Viikari-Juntura, E., "A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders." *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, Vol. 19, pp. 73 ~ 84, 1993.
- 2) van Wely, P., "Design and disease." *Applied Ergonomics*, Vol. 1, pp. 262 ~ 269, 1970.
- 3) Corlett, E. N. and Bishop, R.P., "A technique for assessing postural discomfort." *Ergonomics*, Vol. 19, pp. 175 ~ 182, 1976.
- 4) Andrews, D. M., Norman, R. W., Wells, R. P. and Neumann, P., "The accuracy of self-report and trained observer methods for obtaining estimates of peak load information during industrial work." *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 19, pp. 445 ~ 455, 1997.

- 5) Baty, D., Buckle, P. W. and Stubbs, D. A., "Posture recording by direct observation, questionnaire assessment and instrumentation: a comparison based on a recent field study," In N. Corlett, J. Wilson and I Manencia(Ed), *The Ergonomics of Working Postures*, Taylor and Francis, London, pp. 282~292, 1986.
- 6) Burdorf, A. and Laan, J., "Comparison of methods for the assessment of postural load on the back." *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, Vol. 17, pp. 425~429, 1991.
- 7) Wiktorin, C., Karlqvist, L. and Winkel, J., "Validity of self-reported exposures to work postures and manual materials handling." *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, Vol. 19, pp. 208~214, 1993.
- 8) Corlett, E. N., Madeley, S. J. and Manencia, I., "Posture targeting: A technique for recording working postures." *Ergonomics*, Vol. 22, No. 3, pp. 357~366, 1979.
- 9) Genaidy, A. M., Guo, L., Eckart, R. and Tischbein, D., "A postural stress analysis system for evaluating body movements and positions in industry." *Proceedings of Ergonomics Society Conference*, Edinbergh, Scotland, pp. 346~351, 1993.
- 10) Karhu, O., Kansil, P. and Kuorinka, I., "Correcting working postures in industry: A practical method for analysis." *Applied Ergonomics*, Vol. 8, No. 4, pp. 199~201, 1977.
- 11) Keyserling, W.M., "Postural analysis of the trunk and shoulders in simulated real time." *Ergonomics*, Vol. 29, No. 4, pp. 569~583, 1986.
- 12) McAtamney, L. and Corlett, E.N., "RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders." *Applied Ergonomics*, Vol. 24, No. 2, pp. 91~99, 1993.
- 13) van der Beek, A. J., van Gaalen, L. C. and Frings-Dresen, M. W., "Working postures and activities of lorry drivers: A reliability study of on-site observation and recording on a pocket computer." *Applied Ergonomics*, Vol. 23, No. 5, pp. 331~336, 1992.
- 14) Marras, W. S., Lavender, S. A., Leurgans, S. E., Rajulu, S. L., Allread, W. G., Fathallah, F. A. and Ferguson, S. A., "The role of dynamic three-dimensional trunk motion in occupationally-related low back disorders: The effects of workplace factors, trunk position, and trunk motion characteristics on risk of injury." *Spine*, Vol. 18, No. 5, pp. 617~628, 1993.
- 15) Genaidy, A.M., Al-Shedi, A.A. and Karwowski, W., "Postural stress analysis in industry." *Applied Ergonomics*, Vol. 25, No. 2, pp. 77~87, 1994.
- 16) 김대성, 양성환, 이동경, 오정룡, 최정근, "작업 자세에 대한 인간공학적 평가 도구들의 비교." *대한인간공학회 '99 추계 학술대회 논문집*, 인천, pp. 293-299, 1999.
- 17) Andrews, D. M., Norman, R. W., Wells, R. P. and Neumann, P., "Comparison of self-report and observer methods for repetitive posture and load assessment." *Occupational Ergonomics*, Vol. 1, No. 3, pp. 211~222, 1998.
- 18) Buchholz, B., Paquet, V., Punnet, L., Lee, D. and Moir, S., "PATH: A work sampling-based approach to ergonomic job analysis for construction and other non-retitive work." *Applied Ergonomics*, Vol. 27, No. 3, pp. 177~187, 1996.
- 19) Nordin, M., Ortengren, R. and Andersson, G. B. J., "Measurement of trunk movements during work." *Spine*, Vol. 9, No. 5, pp. 465~469, 1984.
- 20) Motion Analysis Corporation, *Expertvision reference manual and user's manual*, Motion Analysis Corporation: Santa Rosa, CA, 1986.
- 21) Hsiao, H. and Keyserling, W. M., "A three-dimensional ultrasonic system for posture measurement." *Ergonomics*, Vol. 33, No. 9, pp. 1089~1114, 1990.
- 22) Warren, J., Vhattacharya, A. and Lemasters, F., "Evaluation of an ergonomic dosimeter at construction sites." *American Industrial Hygiene Conference and Exposition*, Anaheim, CA, 1994.
- 23) Armstroong, T. J., Foulke, J. A., Joseph, B. S. and Goldstein, S. A., "Investigation of cumulative trauma disorders in a poultry processing plant." *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 43, No. 2, pp.103~116, 1982.
- 24) Kilbom, A., Persson, J. and Jonsson, B., "Risk factors for work-related disorders of the neck and shoulder - with special emphasis on working postures and movements." In E. N. Corlett, J. Wilson and I Manencia (Ed), *The Ergonomics of Working Postures*, Taylor and Francis, London, pp. 44~53, 1986.
- 25) Kemmlert, K., "A method assigned for the identification of ergonomic hazards-PLIBEL." *Applied Ergonomics*, Vol. 26, No. 3, pp. 199~211, 1995.
- 26) Kim, S., Chung, M.K., Kee, D. and Lee, I., "Postural stress analysis in automobile tasks." In S. Kumar(Ed), *Advances in Occupational Ergonomics and Safety*, IOS Press, Amsterdam, pp. 673~677, 1998.
- 27) 기도형, "인체 관절 동작의 지각 불편도에 근거

- 한 상체의 자세 분류 체계의 개발.” 대한산업공학회지, Vol. 24, No. 3, pp. 447~455, 1998.
- 28) Toyota Motor Manufacturing North America, “Request for proposal.” University of Louisville, KY, USA, 1999.
- 29) Winkel, J. and Mathiassen, S. E., “Assessment of physical work load in epidemiologic studies: Concepts, issues and operational considerations.” *Ergonomics*, Vol. 37, No. 6, pp. 979~988, 1994.
- 30) Heinsalmi, P., “Method to measure working posture loads at working sites (OWAS).” In E.N. Corlett, J. Wilson and I Manencia (Ed), *The Ergonomics of Working Postures*, Taylor and Francis, London, pp. 100~104, 1986.
- 31) Keyserling, W. M., “Computer-aided posture analysis of the trunk, neck, shoulders and lower extremities.” In W. Karwowski, A. M. Genaidy and S. S. Asfour (Ed), *Computer-aided Ergonomics*, Taylor and Francis, London, pp. 261~272, 1990.
- 32) Juul-Kristensen, B., Fallentin, N. and Ekdahl, C., “Criteria for classification of posture in repetitive work by observation methods: A review.” *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 19, pp. 397~411, 1997.
- 33) Foreman, T. K. and Troup, J. D. G., “Diurnal variations in spinal loading and the effects on stature: A preliminary study of nursing activities.” *Clinical Biomechanics*, Vol. 2, pp. 48~54, 1987.
- 34) Rohmert, W. and Landau, K., *A new technique for job analysis*, Taylor and Francis, London, 1983.
- 35) Ryan, G. A., “Musculoskeletal symptoms in supermarket workers.” *Ergonomics*, Vol. 32, No. 4, pp. 359~371, 1989.
- 36) Midema, M.C., Douwes, M. and Dul, J., “Recommended maximum holding times for prevention of discomfort of static standing postures.” *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 19, pp. 9~18, 1997.
- 37) Tichauer, E. R., “Some aspects of stress on forearm and hand in industry.” *Journal of Occupational Medicine*, Vol. 8, pp. 63~71, 1966.
- 38) Tichauer, E. R., “Ergonomics sustains occupational safety and health.” *Industrial Engineering*, Vol. 8, pp. 46~56, 1976.
- 39) Winkel, J. and Westgaard, R., “Occupational and individual risk factors for shoulder-neck complaints: Part II. The scientific basis (literature review) for the guide.” *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 10, pp. 85~104, 1992.