Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 26, No. 1 pp.39-46, February 2007

외부 부하, 동작 반복 효과가 반영된 자세 분류 체계의 개발*

기 도 형

계명대학교 산업시스템공학과

Development of a Posture Classification Scheme Reflecting the Effects of External Load and Motion Repetition

Dohyung Kee

Department of Industrial & Systems Engineering, Keimyung University, Taegu, 704-701

ABSTRACT

The purpose of this study was to develop a comprehensive posture classification scheme considering the effects of external load and motion repetition as well as those of working posture. The scheme was developed based on a series of existing empirical studies dealing with postural classification scheme, effects of external load and motion repetition. Ranges of joint motions, external load and motion repetition were divided into the groups with the same degree of discomforts. Each group was assigned a numerical relative discomfort score of code on the basis of discomfort values for the neutral position of elbow flexion. The criteria for evaluating stress of working postures were proposed based on the four distinct action categories, in order to enable practitioners to apply appropriate corrective actions. The proposed scheme was compared with OWAS, RULA and REBA. The comparison revealed that while the proposed scheme and RULA showed similar results for the working postures with light external load and non-repetitive postures, the former overestimated postural load for postures with moderate or heavy external load and repetitive postures than the latter.

Keyword: Posture classification scheme, Musculoskeletal disorders, External load, Motion repetition

1. 서 론

근골격계질환(musculoskeletal disorders: MSDs)이란 관절 부위의 근육, 힘줄 또는 기타 연조직이 손상되어 불편을 느끼거나 지속적인 통증 혹은 손상, 장애가 발생하는 증상을 통칭하며, 이러한 증상이 새로이 유발되는 것은 물론 기존의 증상이 악화된 경우를 포함한다(Kroemer, 1989). 근골격계질환은 작업자의 심리적, 정신적 고통은 물론, 생산성 감소 및 보상 비용 등의 경제적 손실을 가중시킨다(Chaffin et al., 1999). Faucett 등(2002)에 의하면 미국 전체 작업자의 2% 가량이 근골격계질환을 앓고 있으며, 이로 인해 전체 산업 재해 보상 비용의 약 1/3이 근골격계질환 재해로 인한 보상에 사용되고 있다. 우리나라의 경우 2003년에 4,532건의 근골격계질환이 발생하여 최대를 보였으며, 2004년에는 4,112명으로 약간 감소하였다. 이는 전체 직업병의 약 45~50%에 해당하는 수치이다(노동부, 2003, 2004).

근골격계질환을 발생시키는 위험 요소는 크게 개인적인

*본 연구는 2005년도 계명대학교 비사연구기금으로 이루어졌음.
교신저자: 기도형
주 소: 704-701 대구광역시 달서구 신당동 1000, 전화: 053-580-5319, E-mail: dhkee@kmu.ac.kr

요인(individual factor), 사회 · 심리적 요인(psychosocial factor), 물리적 요인(physical factor)으로 나누어진다(Winkel and Mathiassen, 1994). 개인적인 요인은 개인 특성에 의한 성별, 연령, 신체 치수, 과거 병력, 기술 수준 등으로 인위적으로 조절이 불가능한 요인이다. 사회 · 심리적인(psychosocial) 요인은 작업 만족도, 근무조건 만족도, 작업의 자율성 등 사람의 감정에 해당하는 요인이다. 물리적 요인은 중량물 취급, 부적절한 자세, 반복적인 작업, 무리한 근력 동원, 전신 진동, 휴식시간 부족 등이 있다. 이러한 요인들은 단독으로 영향을 준다기 보다는 복합적으로 작용하여 작업자의 건강상 문제를 일으킨다고 볼 수 있다.

물리적 요인 중 부적절한 자세는 중량물 취급과 함께 근골격계질환의 주요 요인으로 알려져 있다. NIOSH(1997)는 600건 이상의 역학적 연구(epidemiological study) 관련 문헌 조사 결과를 바탕으로, 목, 어깨, 허리 부위의 근골격계 질환 발병은 작업 자세와 인과 관계가 있음을 보고하였다. 부적절한 작업 자세의 개선을 위해서는 작업 자세에 따른 작업 부하의 예측 및 평가가 선행되어야 한다. Genaidy 등(1994)은 작업 자세 부하 분석 및 평가 방법을 자기 보고법(self-report), 관찰적 기법(observational method), 기구를 이용한 기법(instrument method)으로 분류하였다. 이 중에서 관찰적 기법은 작업자의 작업을 방해하지 않으며, 특별한 장비가 필요하지 않아 가장 선호되고 있는 작업 평가 기법으로 산업 현장에서 가장 널리 사용되고 있다(Genaid et al., 1994; Kilbom, 1994; Winkel and Mathiassen, 1994; Li and Buckle, 1999).

현재까지 다수의 관찰적 기법이 개발되어 왔으나 국내에서는 OWAS(Karhu et al.,1977), RULA(McAtammney and Corelett, 1993), REBA(Hignett and McAtammney, 2000)가 많이 사용되고 있다(이인석, 2002). 기존의 여러 관찰적 기법들은 자세 부하의 평가에 초점이 맞추어져, 공구나 작업물 등의 외부 부하(external load) 및 동작 반복의 영향에 대한 평가가 부족하다(표 1 참조). OWAS, RULA, REBA 등의 관찰적 기법은 외부 부하 효과를 고려하고 있지만, 그 분류 구간이 클 뿐 아니라 객관적 근거가 부족하고 기법마다 상이한 문제가 있다. 외부 부하가 커질수록 근골격계에 가해지는 부하가 증가할 뿐 아니라 자세 혹은 외부 부하의 위치에 따라 부하의 크기는 같은 외부 부하 양이라도 차이를 보일 수 있다. 그러나 기존에 발표되어 있는 대부분의 관찰적 기법은 외부 부하의 영향을 자세에 상관없이 단지 외부 부하의 크기만 평가하고 있다. 또한, RULA, REBA 등은 동작의 반복 요인을 분당 4회를 기준으로 가산점을 주는 방식으로 반영하고 있어 그 영향을 제대로 반영하고 있지 못하다. OWAS에서는 동작 반복 효과가 고려되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 위에서 언급한 기존 관찰적 기법의 문제를 극복한 외부 부하, 동작 반복, 정적 자세의 영향을 포괄적으로 반영하는 새로운 자세 부하 평가 기법을 개발하고자 한다. 자세, 외부 부하 및 반복 효과의 분류 구간에 부여되는 code는 비율 척도(ratio scale) 특성을 가지게 하여, 작업 자세 간 부하 비교가 가능하게 한다. 또한, 자세 분류 체계를 이용한 작업 자세, 외부 부하, 동작 반복 효과를 평가한 후 이를 바탕으로 자세 부하를 판단할 수 있는 사후 평가 기준(post criterion), 즉 현장에서 개선 대책의 시급성을 결정하는 기준을 제공한다.

표 1. OWAS, RULA, REBA 특성 비교

체 계	자세 분류	외부 부하	동작 반복
OWAS	허리 4개, 팔 3개, 다리 7개	10kg 미만, 10~20kg, 20kg 이상	고려되지 않음
RULA	위팔 4개, 아래팔 2개, 손목 3개, 목 4개, 몸통 4개, 다리 2개	0~2kg, 2~10kg (간헐적), 2~10kg (정적, 반복적), 10kg 이상	분당 4회 이상 반복(1분 이상 자세 유지)
REBA	위팔 4개, 아래팔 2개, 손목 2개, 목 2개, 몸통 4개, 다리 2개	5kg 미만, 5~10kg, 10kg 초과	분당 4회 이상 반복(1분 이상 자세 유지)

2. 방 법

2.1 자세, 외부 부하, 동작 반복, 자세 분류 구간

본 연구는 자세 분류 체계, 외부 부하와 동작 반복의 영향을 다룬 기존 연구를 바탕으로 수행되었다. 본 연구에서 참조한 주요 연구는 다음과 같다.

1) 자세 분류 체계: LUBA(Kee and Karwowski, 2001), Chung et al.(2003);

2) 외부 부하 및 동작 반복: 기도형(2004a,b).

허리를 포함한 상지의 자세 분류 체계는 LUBA(Kee and Karwowski, 2001) 체계를 일부 수정하여 사용하였다. LUBA에서 고려되지 않았던 하지 자세에 대한 분류 체계는 Chung et al.(2003)의 하지 자세 평가 결과를 참조하여 추가하였다. 관절 동작의 지각 불편도에 대한 기존 연구에서 앉은 자세와 선 자세의 지각 불편도는 엉덩(hip) 관절을 제외하고는 유의한 차이가 없는 것으로 나타나(기도형, 1998), 본 연구에서는 기본적으로 선 자세를 대상으로 한 자세 분류 체계를 제시하였다.

외부 부하와 동작 반복은 이상의 문헌과 OWAS, RULA, REBA 등의 관찰적 기법을 참조하여 적용이 용이하도록 구간을 정하고, 이에 비율 척도 특성을 가진 code를 부여하였

다. 외부 부하 분류 구간 설정의 바탕이 된 기도형(2004a,b)의 연구에서 외부 부하가 5.0kg 이하로 제한되었기 때문에, 본 연구에서도 이를 따라 외부 부하는 5.0kg까지만 그 영향을 분류하였다. 정적 자세 효과는 RULA의 정적 자세 및 반복 분류 구간과 code, 동작 반복의 영향을 다룬 기도형(2004a,b)의 연구 결과를 참조하여 분류 구간 및 code를 제시하였다.

2.2 기존 자세 분류 체계와의 비교

본 연구에서는 우리나라에서 자세 부하 측정 시 많이 사용되고 있는 OWAS, RULA, REBA와 본 연구에서 제시한 자세 분류 체계의 적용 결과를 비교하였다. 자세 부하 평가는 자동차 업종 37개, 전자 업종 30개, 병원 28개 등 95 자세를 대상으로 하였다. 자동차 업종은 작업 자세가 다양하며, 또한 자세 부하가 커서 선택하였으며, 여러 공정 중 조립 라인을 위주로 자세를 취하였다. 전자 업종은 작업 주기(work cycle)가 짧아 동작 반복의 효과와, 생산 라인에서 거의 움직이지 않고 같은 자리에서 정적 자세로 일하여 정적 자세의 영향을 볼 수 있기 때문에 선정하였다. 본 연구의 분석 대상이 된 전자 업종의 경우 작업 주기가 대부분 10초 이내였다. 병원 업종은 서비스업의 다양한 작업 및 자세, 반복의 영향을 볼 수 있어 선정하였다. 본 연구에서 제시한 자세 분류 체계에서 외부 부하는 5kg 이하로 제한되었기 때문에, 업종에 관계없이 외부 부하가 5kg을 초과하는 경우는 제외하였다.

3. 결 과

3.1 자세 분류 구간

앞서 언급한 바와 같이 허리를 포함한 상지의 자세 분류 체계는 LUBA 체계를 원용하고, 다리 자세는 Chung et al.(2003)의 연구 결과를 바탕으로 분류하였다. LUBA 체계 중 팔꿈치 자세의 회내(pronation), 회외(supination)는 현실에서 거의 일어나지 않고 관찰도 어려워 제외하였다.

Chung et al.(2003)은 다리 자세를 선 자세(보통의 선 자세, 비대칭 자세, 다리를 좌우로 넓게 벌려 선 자세(wide feet position), 발끝으로 선 자세, 기대 서기), 무릎 구부린 자세(약간 구부린 자세, 심하게 구부린 자세, 비대칭 무릎 구부린 자세), squatting(보통의 squatting 자세, 비대칭 squatting), 앉은 자세(보통의 앉은 자세, 바닥에 앉기), 무릎 꿇기(보통의 무릎 꿇은 자세, 부적절한 무릎 꿇은 자세), 한 발로 서기(보통의 한 발 선 자세, 무릎 구부린 한 발 선 자세)로 구분하였다. 본 연구에서는 각 다리 자세의 불편도 크기와 자세 특성을 고려하여 크게 선 자세, 무릎 구부린 자세, 앉은 자세, 무릎 꿇은 자세의 4가지로 분류하였다. 이를 다시 선 자세는 3가지, 무릎 꿇은 자세는 2가지로 세분하여 전체 7가지 자세로 다리 자세를 구분하였다. 각 관절 혹은 지체의 자세 분류 체계는 다음 표 2, 표 3에 제시되어 있다.

표 2. 손목, 팔꿈치, 어깨 자세에 대한 분류

관 절	자 세	구 간	Code
손 목	굴 곡	0~20°	1
		20~60°	2
		>60°	5
	신 전	0~20°	1
		20~45°	2
		>45°	7
	요골편향	0~10°	1
		10~30°	3
		>30°	7
	측골편향	0~10°	1
		10~20°	3
		>20°	6
팔꿈치	굴 곡	0~45°	1
		45~120°	3
		>120°	5
어 깨	굴 곡	0~45°	1
		45~90°	3
		90~150°	6
		>150°	11
	신 전	0~20°	1
		20~45°	3
		45~60°	6
		>60°	10
	내 전	0~10°	1
		10~30°	2
		>30°	8
	외 전	0~30°	1
		30~90°	3
		>90°	7
	내 선	0~30°	1
		30~90°	2
		>90°	5
	외 선	0~10°	1
		10~30°	2
		>30°	5

표 3. 목, 허리, 다리 자세에 대한 분류

관 절	자 세	구 간	Code
목	굴 곡	0~20°	1
		20~45°	3
		>45°	5
	신 전	0~30°	1
		30~60°	4
		>60°	9
	옆으로 굽힘	0~30°	1
		30~45°	2
		>45°	7
	회전	0~30°	1
		30~60°	2
		>60°	8
허리	굴 곡	0~30°	1
		30~60°	3
		60~90°	6
		>90°	12
	신 전	0~10°	1
		10~20°	4
		20~30°	8
		>30°	15
	옆으로 굽힘	0~10°	1
		10~20°	4
		20~30	9
		>30°	13
	회 전	0~20°	1
		20~60°	3
		>60°	10
다리 자세	선 자세	두 다리로 바로 선 자세	3
		비대칭 선 자세 (체중이 한쪽 다리에 치우치거나 한 발로 선 자세)	7
		기대 서기	1
	무릎 구부린 자세*	무릎을 30~60° 구부림	5
		무릎을 60° 이상 구부림	9
	앉은 자세	모든 앉은 자세	1
	무릎 꿇은 자세	모든 무릎 꿇은 자세	6

*: 그림 1 참조

3.2 외부부하

외부 부하의 영향은 기도형(2004a,b)의 연구를 바탕으로 반영하였다. 기도형(2004a)은 팔꿈치 및 어깨 자세, 아래팔의 반복 동작과 외부 부하를 변수로 한 실험을 수행하여, 팔꿈치 자세를 제외한 실험 변수가 불편도에 유의한 영향을 미침을 밝혔다. 기도형(2004b)은 어깨, 팔꿈치, 손목 자세, 손목 동작 반복, 외부 부하를 실험 변수로 한 실험에서, 손목 자세와 팔꿈치 자세를 제외한 실험 변수가 불편도에 유의함을 보였다. 두 연구에서 모두 외부 부하가 유의 수준 5% 이하에서 불편도에 유의한 영향을 미침을 보였고, 사용한 실험 변수 중 유의도가 가장 높게 나타났다. 외부 부하를 독립 변수로, 불편도를 종속 변수로 한 회귀분석을 실시하였으며, 두 연구에서 회귀식의 기울기(외부 부하 1kg당 불편 수준의 증가량)가 각각 13.24, 13.89로 거의 같게 나타났다. 본 연구에서는 이를 바탕으로 외부 부하 크기에 따른 불편도를 산정하고, LUBA의 code 부여 기준이 된 팔꿈치 굴곡의 중립 자세의 불편도를 기준으로 하여 상대적 부하 code를 부여하였다(표 4). 또한, 외부 부하의 위치, 즉 자세에 따라 외부 부하의 영향이 달라질 수 있어, 이에 대한 영향은 나석희(2006)의 연구 결과를 인용하여 다음 표 5와 같이 외부 부하의 code가 손의 위치에 따라 달라지도록 하였다.

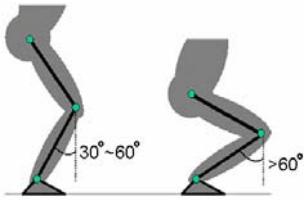

그림 1. 무릎 구부린 자세

표 4. 외부 부하 분류 체계

외부 부하	Code
0.5 kg 미만	0
1.0kg 이하	3
2.0kg 이하	7
3.0kg 이하	10
4.0kg 이하	13
5.0kg 이하	16

3.3 동작 반복

동작 반복은 인체의 여러 부위에서 일어날 수 있으나, 본 연구에서는 산업 현장의 대부분의 작업이 수작업으로 이루어지는 점을 고려하여 손목 동작과 팔 동작 반복으로 나누어 부하를 부여하였다. 손목 동작은 손목을 기준으로 하여 20° 이상의 굴곡 혹은 신전 동작이 반복되는 동작을 말한다. 팔 동작은 팔꿈치를 기준으로 30° 이상의 굴곡 동작이 반복되는 것을 의미한다.

표 5. 자세에 따른 외부 부하 가중치

자세(손의 위치)	가중치
손 높이: 어깨 높이와 같거나 낮음; 손 길이(hand distance: 어깨 높이 중지 끝까지의 거리): 전완보다 짧음.	1 x 외부 부하 code
손 높이: 어깨 높이와 같거나 낮음; 손 길이: 전완보다 길고 arm reach의 70%보다 짧음, 혹은 손 높이: 어깨 높이보다 높음; 손 길이: 전완보다 짧음.	2 x 외부 부하 code
손 높이: 어깨 높이와 같거나 낮음; 손 길이: arm reach의 70%보다 멈, 혹은 손 높이: 어깨 높이보다 높음; 손 길이: 전완보다 멈.	2.4 x 외부 부하 code

손목 동작은 기도형(2004b), 팔 동작은 기도형(2004a)의 연구에서 제시한 동작 반복에 따른 불편도의 선형 회귀식을 바탕으로 부하 code를 산정하였다. 두 연구에서 기울기 즉, 동작 반복 1회당 불편도 증가량이 손목 동작에서는 1.06, 팔 동작에서는 1.8로 나타났다. 본 연구에서는 이를 바탕으로 동작 반복에 따른 불편도 수준을 결정하고, 이를 LUBA의 code 산정 기준이 된 팔꿈치 굴곡 중립 자세의 불편도와 비교하여 상대적 부하를 산정하였다. 그 결과는 다음 표 6과 같다.

표 6. 동작 반복에 따른 부하 code

반복 구분	반복 정도	Code
손목 반복	5회 이하	1
	10회 미만	2
	15회 미만	3
	15회 이상	4
팔 반복	3회 이하	1
	6회 미만	2
	9회 미만	3
	12회 미만	4
	15회 미만	5
	15회 이상	6

3.4 정적 자세

Grandjean(1993)은 정적 자세에서 높은 수준의 힘을 10초 이상 가하거나, 보통 수준의 힘을 1분 이상 가하거나 혹은 낮은 수준의 힘을 4분 이상 가하는 경우 정적 부하가 상당(considerable)하다고 하였다. 이를 참조하여 RULA에서는 1분 이상 정적 자세가 유지될 경우 가중치 1점을 부여하였다. 본 연구에서는 RULA에서 분당 4회 이상 동작이 반복이 되는 경우에도 가중치 1점을 부여하는 점과 본 연구에서 제시한 동작 반복에 대한 부하 수준을 참조하여, 1분 이상 정적 유지되는 자세에 대하여 3의 code를 부여하였다(표 7).

표 7. 정적 자세에 대한 code

구 분	Code
1분 이상 정적 자세가 유지됨 (상지나 하지 중 한 부위 혹은 양 부위가 1분 이상 정적으로 유지됨)	3

3.5 적용 절차

본 연구에서 제시한 자세 분류 체계의 적용 절차는 다음과 같다.

1) 작업 현장의 작업 장면을 신체 각 부위의 자세가 쉽게 관찰될 수 있도록 사진 혹은 동영상으로 촬영한다.

2) 촬영한 작업 장면을 보면서 작업 사이클(work cycle)의 가장 많은 부분을 차지하거나 자세 부하가 가장 큰 작업 자세를 선택하여, 위의 분류 체계를 적용하여 자세, 외부 부하, 동작 반복, 정적 자세를 코딩한다.

3) 코딩된 값에 대하여 다음 식을 이용하여 작업 자세, 외부 부하, 동작 반복 및 정적 자세로 인한 부하를 모두 더하여 자세 부하를 계산한다. 여기서, 작업 자세, 외부 부하, 동작 반복, 정적 자세 분류에서 중립을 벗어난, 즉 본 연구에서 제시한 분류 code가 2 이상인 code 값의 합으로 자세 부하를 구한다.

$$\text{자세 부하} = C_{\text{작업 자세}} + C_{\text{외부 부하}} + C_{\text{동작 반복}} + C_{\text{정적 자세}},$$

여기서, $C_{\text{작업 자세}}$: 작업 자세에 따른 부하; $C_{\text{외부 부하}}$: 외부 부하에 따른 부하; $C_{\text{동작 반복}}$: 손목 혹은 팔(팔꿈치) 반복에 따른 부하; $C_{\text{정적 자세}}$: 정적 자세 부하.

작업 자세에 따른 부하는 다음과 같이 구한다.

$$C_{\text{작업 자세}} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} Cij,$$

여기서, i = i번째 관절, j = j번째 자세,
C_{ij} = i번째 관절의 j번째 자세의 code,
단, 자세 분류 code가 1일 때는 $C_{ij} = 0$.

4) 위에서 계산된 자세 부하를 이용하여 주어진 작업 자세 부하의 적정 여부 혹은 수정 여부를 다음 기준을 이용하여 판단한다.

Category I: 자세 부하가 5 이하인 자세로 자세 부하가 크지 않아 안전한 자세;
Category II: 자세 부하가 12 이하인 자세로 비교적 안전한 자세;
Category III: 자세 부하가 25 이하인 자세로 빠른 시간 내에 작업장의 재설계나 작업 방법의 수정을 통한 자세 혹은 방법의 변경이 요구되는 자세;
Category IV: 자세 부하가 25를 초과하는 자세로 즉각적인 작업장의 재설계나 작업 방법의 수정이 요구되는 위험(risk)이 높은 자세.

3.6 기존 자세 분류 체계와의 비교

OWAS, RULA, REBA와 본 연구에서 제시한 자세 분류 체계의 비교를 위하여 선정된 95개 자세에 대한 자세 부하 평가 결과를 요약하면 다음 표 8과 같다. OWAS, RULA와 본 연구의 자세 분류 체계는 자세 부하를 4개의 category 혹은 action level로 구분하였으나, REBA는 5개의 action level로 분류하여 직접적 비교가 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 REBA의 action level과 OWAS, RULA 및 본 연구의 자세 분류 체계의 의미의 비교를 통하여, REBA의 action level을 4개로 재분류하였다. 즉, REBA의 action level 0는 OWAS, RULA의 category 혹은 action level 1로, REBA action level 1, 2는 OWAS, RULA의 category 혹은 action level 2로, REBA action level 3, 4는 각각 OWAS, RULA의 category 혹은 action level 3, 4로 하였다. 표 8에서 보는 바와 같이 OWAS와 REBA는 전체 분석 대상 자세 중 91.6%, 90.5%를 category 혹은 action level 1 혹은 2로 평가하여, 전반적으로 자세 부하를 상대적으로 저평가하는 것으로 나타났다. 반면, RULA와 본 연구의 자세 분류 체계는 각각 48.4%, 60.0%를 action level 혹은 category 3, 4로 평가하였다.

표 8. OWAS, RULA, REBA 및 본 연구 자세 분류 체계의 평가 결과(%)

체 계	Category/action level			
	1	2	3	4
OWAS	41.1	50.5	6.3	2.1
RULA	1.1	50.5	36.8	11.6
REBA	3.2	87.3	8.4	1.1
본 연구	3.2	36.8	36.8	23.2

각 평가 도구 간의 평가 결과의 일치율은 다음 표 9와 같다. OWAS와 RULA, OWAS와 본 연구의 분류 체계 간의 일치율은 22.1%로 낮았고, 본 연구의 체계와 REBA 간의 일치율도 40%에 못 미치는 수준으로 낮게 나타났다. OWAS와 REBA, RULA와 REBA 간의 일치율은 50% 전후 수준을 보였고, RULA와 본 연구의 자세 분류 체계는 일치율이 66.3%에 이르러 분석 대상 자세의 약 2/3에 대한 평가 결과가 일치함을 보였다.

표 9. OWAS, RULA, REBA 및 본 연구 자세 분류 체계의 평가 결과 일치율(%)

	OWAS	RULA	REBA	본 연구
OWAS	–	22.1	49.8	22.1
RULA	–	–	54.7	66.3
REBA	–	–	–	37.9

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 상지 자세 분류 체계인 LUBA를 바탕으로 하지 자세, 외부 부하, 동작 반복, 정적 자세의 영향을 반영할 수 있는 종합적인 자세 분류 체계를 제시하였다. 본 연구에서 제시한 자세 분류 체계는 전신 자세를 평가할 수 있을 뿐 아니라, OWAS, RULA, REBA에서 몇 개의 구간으로 나누어 반영하였던 외부 부하 효과를 1kg 단위로 세분하여 반영하였다. 이는 자세 부하에 외부 부하가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 연구 결과를(기도형a,b; 류태범 등, 2005; 김동진 등, 2006) 고려할 때, 기존 방법들보다 외부 부하의 영향을 좀 더 정확히 반영하는 방법으로 판단된다. 또한, RULA와 REBA에서 분당 4회 이상인가 아닌가의 이분법적으로 구분하였던 동작 반복도, 본 연구에서는 작업에서 주로 관찰되는 반복 동작인 손목 동작 반복과 팔 동작 반복으로 구분하여 각각 4구간, 6구간으로 세분하여 제시하여 그 효과를 좀 더 정확하게 고려할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 제시한 자세 분류 체계는 일련의 실험 결과를 바탕으로 외부 부하, 동작 반복과 인체 각 부위의 자세를 분류하여, 그 분류 구간과 부하의 크기(code)에 객관성이 있다 할 수 있다. 즉, 문헌 조사, 전문가의 주관적 의견, 간단한 생체역학적 분석 결과에 근거하여 객관적이고 체계적 근거가 부족한 기존 자세 분류의 문제점(기도형, 1998; 기도형, 2000)을 극복한 것이라 할 수 있다. 또한, 각 분류 구간에 부여된 code는 LUBA의 방법을 따라 관절 자세 중에서 부하가 가장 작은 팔꿈치 굴곡 자세를 기준으로 상대적 값을 가지는 비율 척도로 제시하여, 자세 부하를 직접적으로 비교할 수 있게 하였다.

본 연구에서 제시한 자세 분류 체계는 외부 부하를 5kg

이내로 제한하여, 20kg 이상까지도 반영한 OWAS, RULA, REBA에 비하여 적용 범위가 제한되어 있다. 그러나 이러한 제한점은 다음 사항을 고려할 때 본 연구에서 제시한 자세 분류 체계의 적용에 큰 문제는 없는 것으로 판단된다: 1) 자동차 조립 라인에서 575명의 작업자가 다루는 도구나 작업물의 무게 조사에서 3kg 이하 84%, 3~6kg 8%, 6~9kg 3%, 9kg 이상 4%로 나타나, 대부분의 작업에서의 외부 부하가 5kg 이하로 나타났다(나석희, 2006); 2) 조립 공장의 대표적 수공구 무게는 3kg을 초과하지 않는다(Armstrong et al., 1989); 3) 외부 부하가 5kg 이상인 조건에 대하여 팔 혹은 손목 동작의 반복 효과에 대한 실험을 수행하기가 현실적으로 어렵다; 4) 자세, 외부 부하, 동작 반복 중 외부 부하가 불편도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(기도형a,b; 류태범 등, 2005; 김동진 등, 2006). 따라서 외부 부하가 5kg을 초과할 경우는 자세 분류 체계인 OWAS, RULA, REBA 등을 사용하기 보다는, 들기 작업 전문 분석용 도구인 NIOSH 들기 작업 공식, 3DSSPP, 생체역학적 부하 계산 방법 등을 사용하여 외부 부하의 영향을 좀 더 정확하게 평가하는 것이 바람직하다.

본 연구에서 제시한 자세 분류 체계는 일련의 실험 결과, 즉 관절 자세에 대한 불편도 측정(Kee and Karwowski, 2001), 하지 자세에 대한 불편도 측정 실험(Chung et al., 2003), 손목 동작 반복과 외부 부하에 따른 불편도 측정 실험(기도형, 2004b), 팔 동작 반복과 외부 부하에 따른 불편도 측정 실험(기도형, 2004a) 등의 결과를 바탕으로 개발되었다. 서로 독립적으로 수행된 실험 결과를 사용한 본 연구의 접근 방법은 다음 사항을 고려할 때 타당성이 있는 것으로 판단된다: 1) 이들 모든 실험에서는 일관되게 magnitude estimation 기법을 사용하여 불편도를 측정하였다; 2) 대부분의 피실험자들이 magnitude estimation 기법을 적절히 수행할 능력이 있으며(Gescheider, 1985), 모든 실험에서 본 실험 전에 calibration test를 통하여 magnitude estimation 기법을 사용할 능력이 있는 피실험자를 선발하여 실험에 참여하게 하였다; 3) Zwislocki와 Goodman(1980)은 magnitude estimation 기법을 적절하게 사용하면, 뉴욕에 있는 피실험자 그룹의 평가 결과와 로스엔젤레스에 있는 그룹의 평가 결과가 개략적으로 일치함을 보였다. 이는 magnitude estimation 기법의 연속성과 객관성을 보여준 것이라 할 수 있다.

본 연구에서는 각 인체 부위 자세, 외부 부하, 동작 반복 및 정적 자세에 따른 code 값을 더하여, 전체적인 자세 부하를 산정하였다. 이는 인체 각 부위 자세의 부하를 이용하여 전신 자세의 부하를 예측할 때, 신경망 모델(neural network model)보다는 각 자세의 부하를 선형적으로 더하는 회귀 모형이 적절하다는 이인석(2002)의 연구 결과를 따른 것이다.

기존 자세 분류 체계와의 비교에서 REBA와 OWAS, REBA와 RULA간의 일치율이 50% 전후로 비교적 높게 나타난 것은, REBA가 전체 평가 대상 자세의 대부분(87.3%)을 action level 2로 저평가하고, OWAS, RULA도 50% 정도를 category 혹은 action level 2로 저평가하였기 때문이다. OWAS, REBA가 자세 부하를 전반적으로 저평가하고, RULA는 OWAS, REBA에 비하여 상대적으로 높게 평가하는 경향을 보인 본 연구는 기도형과 박기현(2005)의 연구 결과와 일치한다. 기도형과 박기현(2005)의 연구에 비하여 OWAS와 RULA, OWAS와 REBA 간의 일치율(전 연구에서 각각 33.5%, 54.5%를 보였음)이 낮게 나타났다. 이는 본 연구에서 다룬 외부 부하가 5Kg 이하로 제한되었고 OWAS, REBA에서는 이 구간의 외부 부하가 0으로 평가되어 그 부하가 반영되지 않아, category 혹은 action level 1 혹은 2인 부하가 낮은 자세가 차지하는 비중이 전 연구(각각 71.4%, 72.3%)에 비하여 본 연구에서 높았기 때문이다. RULA와 본 연구의 자세 분류 체계의 비교에서 외부 부하 및 동작 반복이 낮은 수준에 있을 때는 평가 결과가 거의 일치하였다. RULA에 비하여 본 연구의 자세 분류 체계가 저평가한 경우는 7자세에 불과하였다. RULA에 비하여 본 연구의 자세 분류 체계가 고평가한 경우는 25개 자세(약 26.3%)였으며, 대부분 외부 부하가 3kg 이상이거나 동작 반복 회수가 높은 경우였다. 이는 RULA에서 외부 부하가 2~10kg 구간에서는 같게 평가하고, 동작 반복의 경우는 분 4회 이상일 경우는 모두 동일하게 평가하여, 외부 부하와 동작 반복의 영향을 제대로 반영하지 못하여 전반적 자세 부하가 본 연구의 분류 체계에서 보다 낮게 평가되었기 때문이다. 따라서 OWAS, REBA에 비하여 RULA가 작업 자세 부하를 좀 더 평가한다는 기도형과 박기현(2005)의 연구 결과를 따를 때, 외부 부하와 동작 반복 영향을 세분하여 반영한 본 연구의 결과가 작업 자세가 가지는 다양한 요인을 좀 더 충실하게 반영한 체계라 할 수 있다.

참고 문헌

기도형, 인체 관절 동작의 지각 불편도에 근거한 상체의 자세 분류 체계의 개발, *대한산업공학회지*, 24(3), 447-455, 1998.

기도형, 작업 자세 부하 평가를 위한 자세 분류 체계의 연구 현황 - 관측법을 중심으로, *한국산업안전학회지*, 15(4), 139-149, 2000.

기도형, 외부 부하와 반복에 따른 팔 동작의 심물리학적 자세 부하, *산업공학*, 17(2), 218-225, 2004a.

기도형, 손목 동작의 반복과 외부 부하에 따른 심물리학적 부하,

한국안전학회지, 19(4), 123-128, 2004b.
기도형, 박기현, 작업 자세 평가 기법 OWAS, RULA, REBA 비교, *한국안전학회지*, 20(2), 127-132, 2005.
김동진, 나석희, 박국무, 기도형, 정민근, 어깨와 팔꿈치의 조합 자세 및 외부 부하가 지각불편도에 미치는 영향, *대한인간공학회지*, 25(4), 145-151, 2006.
나석희, *지각 불편도에 근거한 외부 하중이 고려된 관찰적 자세 부하 평가 기법*, 포항공과대학교 산업경영공학과 박사학위 논문, 2006.
노동부, *산업 재해 분석*, 2003-2004.
류태범, 박용주, 나석희, 정민근, 기도형, 외부 부하가 부과된 어깨 자세의 심물리학적 불편도 평가, *대한인간공학회지*, 24(2), 9-15, 2005.
이인석, *관절동작 불편도에 근거한 심물리학적 자세부하 평가 모델*, 포항공과대학교 기계산업공학부 박사학위논문, 2002.
Armstrong, T., Punnett, L. and Ketner, P., Subjective worker assessment of hand tools used in automobile assembly, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 50, 639-645, 1989.
Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J. and Martin, B. J., *Occupational Biomechanics*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.
Chung, M. K., Lee, I. and Kee, D., Assessment of postural load for lower limb postures based on perceived discomfort, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31, 17-32, 2003.
Faucett, J., Garry, M., Nadler, D. and Ettare, D., A test of two training interventions to prevent work-related musculoskeletal disorders of the upper extremity, *Applied Ergonomics*, 33, 337-347, 2002.
Genaidy, A. M., Al-Shedi, A. A. and Karwowski, W., Postural stress analysis in industry, *Applied Ergonomics*, 25(2), 77-87, 1994.
Gescheider, G. A., *Psychophysics: Method, theory, and application*, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, London, 1985.
Grandjean, E., *Fitting the task to the man*, Taylor & Francis, London, 1993.
Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid entire body assessment(REBA), *Applied Ergonomics*, 31, 201-205, 2000.
Karhu, O., Kansi, P. and Kuorinka, I., Correcting working postures in industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-201, 1977.
Kee, D. and Karwowski, W., LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time, *Applied Ergonomics*, 32, 357-366, 2001.
Kilbom, A., 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*, 20, 30-45, 1994.
Kroemer, K. H. E., Cumulative trauma disorders: Their recognition and ergonomics measures to avoid them. *Applied Ergonomics*, 20(4), 274-280, 1989.
Li, G. and Buckle, P., Current techniques for assessing physical exposure to work-related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods, *Ergonomics*, 42(5), 674-695, 1999.
McAtamney, L. and Corlett, E. N., RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99, 1993.
National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, low backs*, DHHS (NIOSH) Publication No. 97-141, US Department of Health and Human Services, 1997.
Winkel, J. and Mathiassen, S. E., Assessment of physical work load in epidemiologic studies: Concepts, issues and operational considerations, *Ergonomics*, 73(6), 979-988, 1994.
Zwislocki, J. J. and Goodman, D. A., Absolute scaling and sensory magnitudes: A validation, *Perception and Psychophysics*, 28, 28-38, 1980.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 기 도 형 ❖ dhkee@kmu.ac.kr
서울대학교 산업공학과 학사
서울대학교 산업공학과 석사
포항공과대학교 산업공학과 박사
현 재: 계명대학교 산업시스템공학과 교수
주요 관심분야: 산업안전, 생체역학, 근골격계질환

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2007년 02월 02일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2007년 02월 21일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 02월 26일