Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.22, No.1, pp.43-56, February 2003

지각불편도를 이용한 관찰적 작업자세 평가 기법의 비교*

Comparison of observational posture evaluation methods based on perceived discomfort

이인석**, 정민근***, 최경임***

ABSTRACT

Observational methods such as OWAS, RULA, and REBA have been widely used to identify posture-related risks of musculoskeletal disorders in industry, since they are useful and efficient in evaluating postural stresses. However, there are few studies comparing the methods and providing guidelines for selecting and using the methods. They have been developed based on different backgrounds and with different application areas. Each method has its own characteristics, which must be considered in selecting and using them. In this study, 17 male subjects evaluated 42 different working postures that frequently assumed in the automobile assembly line using a psychophysical method. The postures were then evaluated by different observational methods. The results of the observational methods were compared with psychophysically evaluated stresses. The observational methods resulted in different values of stresses for certain postures. For some postures showing high values of perceived discomfort, the observational methods showed different values of stresses. These results showed that the observational methods should be used differently according to application area and they have some weak points to be improved.

Keyword: postural load, observational methods, work-related musculoskeletal disorders (WMSDs), psycophysical evaluation, magnitude estimation

* 본 연구는 한경대학교 2002년도 학술연구조성비의 지원에 의한 것임.
** 한경대학교 안전공학과
주 소 : 456-749 경기도 안성시 석정동 67
전 화 : 031-670-5286
E-mail:lis@hnu.hankyong.ac.kr
*** 포항공과대학교 기계산업공학부

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

1. 서 론

직업성 근골격계 질환 (work-related musculoskeletal disorders; WMSDs)은 관절 부위의 근육, 건 (tendon), 인대 (ligament) 등의 미세 섬유질에 발생한 손상으로 인해 불편함 (discomfort), 통증 (pain), 상해 (injury) 등을 유발하는 증상을 통칭하며, 작업에 의해 이러한 증상이 유발되거나 기존의 증상이 악화된 경우를 일컫는다 (Kroemer, 1989; Hagberg et al., 1995). 이 질환이 주로 발생하는 신체부위는 손, 손목, 팔목, 어깨, 목, 허리 등으로, 이 질환의 다른 명칭인 경견완(頸肩腕)장애 (cervicobrachial disorders), 상지질환 (upper limb disorders; ULDs) 등은 이러한 발병 부위 특징을 반영한 것이다.

직업성 근골격계 질환은 작업자의 신체적, 심리적 고통을 유발할 뿐만 아니라, 사회적으로 생산성 감소, 보상비용 증가 등의 경제적 손실을 증가시킨다(Chaffin et al., 1999). 세계보건기구(WHO)에 의하면 여러 선진국에서는 직업성 근골격계 질환으로 인한 단기, 장기적 노동력 상실에 의해 국가적으로 GDP의 약 5%에 해당하는 경제적 손실이 매년 발생하고 있다 (WHO, 1997). 미국의 경우에는 매년 전체 노동력의 약 2%가 근골격계 질환을 앓고 있으며, 이로 인한 재해 보상비용이 전체 산업 재해 보상비용의 약 1/3에 이르는 것으로 보고되고 있다 (Faucett et al., 2002).

우리 나라에서는 최근 직업성 근골격계 질환자가 급증하는 현상을 보이고 있다 (그림 1)(KOSHA, 2002). 이러한 현상은 당분간 지속될 것으로 예상되는데, 이는 근골격계 질환에 대한 산업재해 인정이 1990년대 중반부터 시작되어 서구의 산업선진국에 비해 상대적으로 늦었고, 최근 국가적 경제난을 극복하면서 근골격계 질환에 대한 사회적인 관심이 점차 고조되고 있기 때문이다. 이러한 배경으로 2002년에 개정된 산업안전보건법에서는 직업성 근골격계 질환을 예방하기 위한 조치에 대한 사업주의 의무를 명시화하고 있다(노동부, 2002).

부적절한 작업자세는 중량물의 무리한 취급과 함께 직업성 근골격계 질환 유발의 주요 요인으로 꼽히고 있다. 근골격계 질환과 부적절한 작업자세와의 상관 관계는 이미 많은 연구 결과에서 보고되고 있다(van Wely, 1970; Grandjean and Hünting, 1977; Westgaard and Aarås, 1984; Armstrong, 1986; Putz-Anderson, 1988; Armstrong et al., 1993; Bernard, 1997). Van Wely (1970)와 Grandjean과 Hünting (1977)은 부적절한

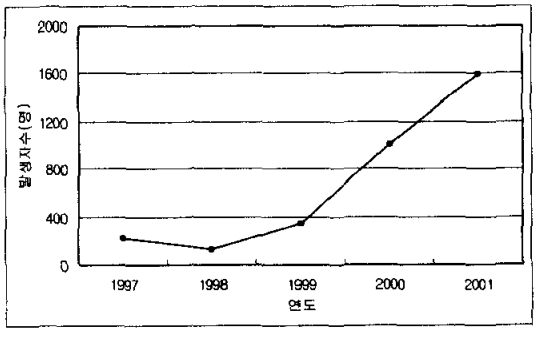

그림 1. 연도별 근골격계 질환 발생 추이

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

표 1. OWAS, RULA, REBA의 주요 특징

평가기법	평가항목	부하평가	주요 적용작업
OWAS	등, 팔, 하지, 하중	4 classes	철강업
RULA	등, 목, 팔, 손목, 하지, 하중, 빈도	4 action levels (7 score levels)	VDT 작업
REBA	등, 목, 팔 손목, 하지, 하중, 빈도	5 action levels (15 score levels)	간호작업

작업자세의 예와 각 자세와 관련하여 발생 가능한 질환 및 통증 부위를 제시하고 있다. Armstrong (1986)은 상지의 자세가 근골격계 질환과 높은 상관관계를 가지고 있음을 보고하였으며, Westgaard and Aarås (1984)는 장시간 동안 어깨와 목에서 정적인 자세를 유지한 채 작업을 하는 작업자들에게 어깨와 목 부위에서 근골격계 질환이 발병하는 비율이 상대적으로 높은 것으로 보고하였다. 그리고, 미국의 국립산업안전보건원 (National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH)에서는 600건 이상의 역학적 연구 (epidemiological studies) 문헌에 대한 조사 결과를 바탕으로 부적절한 작업자세와 목, 어깨, 허리에서의 근골격계 질환 발병 간에 인과관계의 증거가 있음을 보고하고 있다(Bernard, 1997).

부적절한 작업자세를 개선하기 위해서는 작업자세로 인한 작업부하의 정도를 평가하는 것이 선행되어야 한다. 기존의 작업 자세 평가 기법은 크게 관찰적 기법, 장비를 이용한 직접 측정 기법, 그리고 설문 기반 조사 기법 등이 있다 (Genaidy et al., 1994; Winkel and Mathiassen, 1994; Li and Buckle, 1999). 이러한 기법 중 관찰적 작업자세 평가 기법은 특별한 고가의 장비를 필요로 하지 않으며 작업을 방해하지 않고 적용할 수 있기 때문에 산업 현장에서 가장 많이 이용되고 있다. 여러 연구에서 관찰적 기법은 작업관련 근골격계 질환의 위험 요인을 식별하고 평가하는 데 유용한 것으로 보고되고 있다.

대표적인 관찰적 작업자세 평가 기법은 OWAS (Karhu et al., 1977), RULA (McAtamney and Corlett, 1993), REBA (Hignett and McAtamney, 2000) 등이 있다. OWAS (Ovako Working posture Analysis System)는 철강업의 작업자세를 평가하기 위해 개발된 방법으로 전신의 작업자세에 대한 부하를 평가할 수 있도록 하고 있다. 이 기법은 작업자세 분류체계가 간단하고 이용방법이 용이해 단양한 분야의 산업에 적용되고 있다. RULA (Rapid Upper Limb Assessment)는 VDT (video display terminal) 작업자의 작업자세 부하를 평가하기 위한 목적으로 개발된 평가 기법으로서, 어깨, 팔, 손목 등 상지와 목, 허리의 상체의 자세에 초점을 맞추고 있다. 이 기법은 OWAS에 비해 작업자세를 세밀하게 분류하고 있으며 작업자세 분류체계에 부하 수준

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

을 정의하고 이를 근거로 작업부하를 분석하는 방법을 이용하고 있다. REBA (Rapid Entire Body Assessment)는 RULA가 상체의 자세를 대상으로 해 적용 분야가 제한적인 것을 보완하여 개발된 작업자세 평가 기법으로, RULA와 유사한 체계로 구성되어 있다. 작업자세 분류체계에서 하지의 자세와 일부 자세의 부하 지수가 변경되었다. 작업자세 부하 평가 체계는 15단계의 부하 수준을 정의하고 있으며, 이는 다시 5단계로 나뉘어 정성적 해석이 정의되어 있다. 표 1은 세 평가 기법의 주요 특징을 정리한 것이다.

OWAS, RULA, REBA 등 세 기법은 현재 가장 널리 이용되고 있는 기법이나 이들 기법들의 작업자세 부하 평가 특성을 검증하고 비교한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 작업관련 근골격계 질환의 위험요인으로서 작업자세의 부하를 평가하는 것은 중요하지만, 부하 평가의 신뢰성을 높이기 위해서는 평가 기법의 특징을 이해하는 것이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 세 평가 기법을 작업자세 부하 측면에서 비교하고 특징을 분석하였다. 자동차 조립공정의 대표적인 작업 자세들을 대상으로 전신의 자세 부하를 심물리학적 방법을 이용하여 평가하고, 이를 각 기법을 통해 평가된 부하 수준과 비교 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1 심물리학적 부하 평가

본 연구에서는 자동차 조립공정에서 많이 발생하는 42개 작업자세에 대하여 정적인 자세의 심물리학적 부하를 평가하는 실험을 수행하였다. 실험에는 근골격계 질환을 경험하지 않은 건강한 남자 대학생 17명이 피실험자로 참여하였으며, 이들의 평균(±표준편차) 연령, 신장, 체중은 각각 22.6±1.1세, 173.0±3.5cm, 64.4±4.4kg이었다.

피실험자들은 주어진 자세를 1분간 유지한 후 magnitude estimation 기법을 이용해 자신이 인지한 불편도 수준을 양의 숫자로 평가했다. 피실험자들은 전혀 불편하지 않은 상태 (완전히 편안한 상태)를 0이라 가정하고 불편한 정도가 클수록 큰 숫자를 제시하였다. Magnitude estimation 기법은 피실험자가 외부의 자극의 정도를 인지하여 그 크기를 숫자나 선의 길이와 같이 다양한 표현 방식으로 평가하는 방법이다. 이 기법은 심물리학 (psychophysics) 연구에서 많이 이용되는 평가 방법이며(Gescheider, 1985), 자세의 부하를 평가하는 연구에서도 이용되고 있다 (Kee and Karwowski, 2001).

Magnitude estimation 기법은 적용 방법에 따라 주어진 기준을 이용하여 자극의 정도를 평가하는 방식(modulus method)과 주어진 기준이 없이 피실험자가 스스로 설정한 기준을 이용하는 방식(free-modulus method)으로 나뉜다. Free-modulus 방식은 실험자가 피실험자의 평가에 미치는 영향이 적으며 피실험자의 비율 척도 능력을 최대한 발휘하게 하는 장점이 있다. 본 연구에서는 평가의 기준을 제시하지 않은 채 피실험자가 스스로 설정한 기준에 따라 불편도의 크기를 평가하는 방식으로 자세의 불편도를 평가

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

하였다. 이 방법에서는 피실험자에게 기준이 되는 자극을 정의해 주지 않을 뿐만 아니라, 숫자의 크기에 대한 어떠한 불편도 의미의 기준 (예: 조금 불편함, 매우 불편함 등)을 제시하지 않는다. 피실험자들은 처음에 취한 자세에 대한 평가치를 기준으로 하여 불편도의 크기의 비율을 판단하여 자세들의 불편도를 평가하게 된다.

Free-modulus magnitude estimation 기법에 의해 구한 데이터는 평가자에 따라서 숫자의 크기와 범위가 다르며, 똑같은 자극에 대한 평가라 하더라도 다양한 크기의 숫자로 평가되게 된다. 이는 피실험자마다 다른 기준에 의해 불편도를 평가하기 때문이다. 따라서, 이러한 데이터는 분석을 수행하기 전에 표준화를 하여야 한다. 본 연구에서는 불편도 데이터를 각 피실험자들의 최대값에 대한 비율로 변환하는 최대값 표준화 방법 (maximum normalization method)을 이용하여 각 데이터를 0~100 사이의 척도로 표준화하였다(Gescheider, 1985; Han et al., 1999). 최대값 표준화 방법은 다음의 식을 따른다.

$$NV_{ij} = \frac{X_{ij}}{Max_i} \times 100$$

(i: 피실험자 번호 (i=1, 2, ..., 17); j: 자세 번호 (j=1, 2, ..., 42); NVij: i번째 피실험자의 j번째 자세에 대한 표준화된 불편도(Normalized Value); Xij: i번째 피실험자의 j번째 자세에 대한 불편도 데이터; Maxi: i번째 피실험자의 불편도 데이터 중 최대값.)

Magnitude estimation 기법은 비율척도의 데이터를 수집하기 위한 방법이다. 이 기법을 적용하기 위해서는 피실험자가 적정한 수준의 비율 척도 능력을 가지고 있어야 하며, 실험에 참여하기에 앞서 비율 척도에 익숙해 질 필요가 있다(Gescheider, 1985; Han et al., 1999). 본 실험에서는 line production 과 numeric estimation 방법을 이용하여 피실험자들의 비율 척도 능력을 검증하고, 이들에게 magnitude estimation 기법이 익숙해 지도록 하였다. Line production은 주어진 숫자에 해당하는 길이의 직선을 그리는 방법이며, numeric estimation은 주어진 직선의 길이를 숫자로 평가하는 방법이다. 피실험자들은 각각 9개의 직선과 숫자를 무작위 순서로 제시받고 비율 척도로 숫자와 직선으로 자극의 정도를 평가하는 예비 실험을 수행하였다.

2.2 각 평가기법을 이용한 평가

심물리학적 방법으로 부하를 평가한 42개 자세를 대상으로 OWAS, RULA, REBA 기법을 적용하여 각 자세의 부하를 평가하였다. 각 기법의 부하 평가 기준은 표 2와 같다. OWAS는 4단계의 조치 (action level)로 부하 수준을 정의하고 있으며, RULA와 REBA는 서열 척도의 점수로 부하 수준을 각각 7단계(RULA Scores)와 15단계(REBA Scores)로 세분화한 후에 이를 다시 4단계와 5단계의 조치로 부하 수준을 정의하고 있다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

표 2. 각 기법의 부하 평가 기준

평가기법	부하수준 (Scores)	조치 (Action level)
OWAS	1	None necessary
	2	May be necessary
	3	Necessary soon
	4	Necessary NOW
RULA	1 (1~2*)	None necessary
	2 (3~4)	May be necessary
	3 (5~6)	Necessary soon
	4 (7)	Necessary NOW
REBA	0 (1**)	None necessary
	1 (2~3)	May be necessary
	2 (4~7)	Necessary
	3 (8~10)	Necessary soon
	4 (11~15)	Necessary NOW

*RULA Score, **REBA Score

42개 자세 중 7개 자세는 허리를 뒤로 젖히는 신전 자세를 포함하고 있다. 그런데, OWAS와 RULA에서는 허리의 신전 자세에 대한 평가 항목이 포함되어 있지 않기 때문에 이들 자세에 대한 평가는 제외하였다. 또한, OWAS에서는 손목의 자세를 포함하고 있지 않고 있기 때문에 OWAS 평가에는 손목의 자세가 고려되지 않았다.

3. 결 과

3.1 상관분석

42개 자세에 대한 지각불편도의 기하평균과 OWAS, RULA, REBA의 부하수준 (action level), 그리고 RULA Score, REBA Score 간의 상관관계를 분석하였다. 표 3은 피어슨 상관계수 (Pearson correlation coefficient)와 통계적 검정 결과를 나타내고 있다. 지각불편도와 각 기법의 부하수준은 모두 양의 상관관계를 보였으며 상관계수는 0.38 ~ 0.59로 나타났고, 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(α =0.05). 상관계수가 가장 높은 것은 REBA Score이고, action level은 REBA, OWAS, RULA의 순인 것으로 나타났다. RULA의 action level은 OWAS 보다 상관계수가 낮았으나, RULA Score는 OWAS보다 상관계수가 큰

표 3. 지각불편도와 각 기법의 부하평가간의 상관분석 결과

	Discomfort Rating	OWAS	RULA	RULA (Score)	REBA	REBA (Score)
Discomfort Rating	1.000	0.442*	0.376*	0.469*	0.518*	0.592*
OWAS		1.000	-0.169	-0.028	0.668*	0.731*
RULA			1.000	0.928*	0.390*	0.257
RULA (Score)				1.000	0.464*	0.342*
REBA					1.000	0.870*
REBA (Score)						1.000

*Statistically Significant at α =0.05.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

것으로 나타났다.

OWAS의 부하 결과와 REBA는 높은 양의 상관계수를 보였으나, OWAS와 RULA는 음의 상관계수를 보였으며 통계적 검정결과 상관관계가 유의하지 않은 것으로 나타났다. RULA와 REBA간에는 보통의 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

3.2 OWAS와 지각불편도

그림 2는 OWAS 부하수준에 따른 지각불편도의 분포를 나타내고 있다. 그림에서 각 자세에 대한 OWAS 부하수준이 증가함에 따라 지각불편도가 전반적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나, 일부 자세에서 지각불편도가 높게 나왔음에도 부하수준은 1로 평가되고 있으며, 부하수준 3의 지각불편도가 부하 수준 4의 지각불편도보다 더 큰 경우가 일부자세에서 나타나고 있다.

지각불편도는 높음에도 불구하고 OWAS 부하수준이 1로 나온 자세들은 모두 팔을 어깨 높이 이상 올리고 손목을 뒤로 젖힌 자세들이다(그림 3). OWAS 부하수준이 4일 때 지각불편도가 상대적으로 낮게 나온 자세들은 모두 허리를 90°정도 굽힌 채 작업을 수행하는 자세들이다(그림 4). 그리고, OWAS 부하 수준이 3임에도 지각불편도가 OWAS 부하 수준 4의 자세보다 높게 나온 자세의 예는 차 내부에서 쪼그리고 앉은 채로 작업을 수행하는 경우이다.

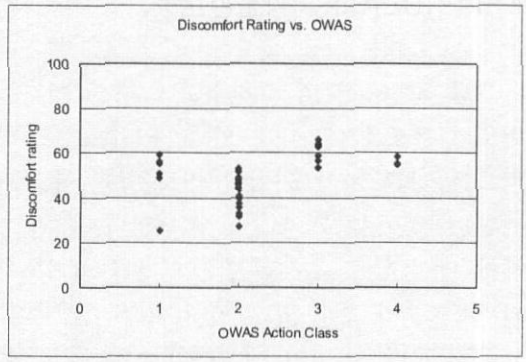

그림 2.불편도와 OWAS의 평가

그림 3. 불편도에 비해 OWAS 부하수준이 낮은 경우 (불편도 50, 부하수준 1)

그림 4. 불편도에 비해 OWAS 부하수준이 높은 경우 (불편도 55, 부하수준 4)

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

3.3 RULA와 지각불편도

그림 5는 RULA 부하수준에 따른 지각불편도의 분포를 나타내고 있다. RULA는 상대적으로 다른 평가 기법에 비해 부하 평가의 민감도가 떨어지는 것으로 나타났다. 그림 5에서 RULA Score 4~7로 평가된 자세들의 지각불편도가 모두 30~70 사이에 고르게 분포하고 있다. 전반적으로 RULA Score 4와 5에 비해서 RULA Score 6과 7에 상대적으로 많은 자세가 포함되고 있다.

지각불편도에 비해 RULA Score가 낮은 경우는 허리를 약 60°정도, 다리를 약 30°정도 굽힌 작업자세이다(그림 6). 또한, 불균형한 자세로 쪼그려 앉은 채 운전석 앞 바닥의 부품을 조립하는 자세의 경우에도 불편도에 비해 RULA Score가 낮은 것으로 나타났다(불편도 59, RULA Score 5). 불편도에 비해 RULA Score가 높은 경우는 허리를 편 채 팔을 어깨 높이로 올리고 손목을 뒤로 젖힌 자세이다(그림 7). 또한, 선 자세에서 허리를 약 90°정도 굽히고 팔을 어깨 높이로 들고 작업하는 경우에도 불편도에 비해 RULA Score가 높은 것으로 나타났다(불편도 44, RULA Score 7).

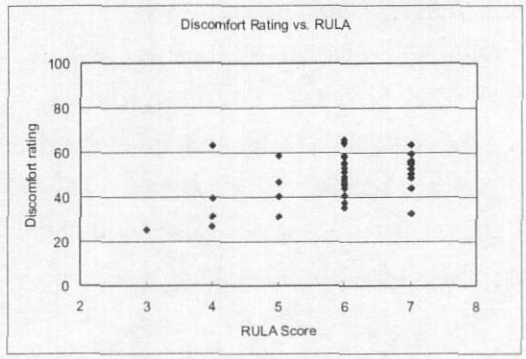

그림 5. 불편도와 RULA scores

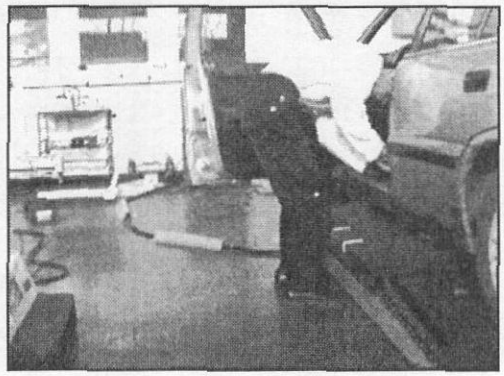

그림 6. 불편도에 비해 RULA 부하수준이 낮은 경우 (불편도 63, RULA Score 4)

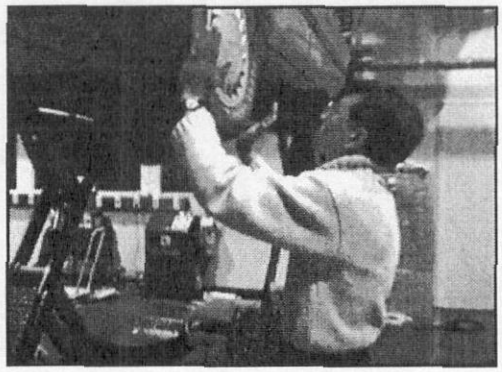

그림 7. 불편도에 비해 RULA 부하수준이 높은 경우 (불편도 33, RULA Score 7)

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

3.4 REBA와 지각불편도

그림 8은 REBA 부하수준에 따른 지각불편도의 분포를 나타내고 있다. REBA는 OWAS, RULA에 비해 지각불편도와 높은 상관관계를 보이고 있으며, OWAS에서와 같이 극단적으로 지각불편도와 차이를 보이는 경우가 없다. 그러나, RULA에서와 마찬가지로 RULA Score 5 이상에서 지각불편도가 넓게 분포되어 차이를 보이지 않는 특성이 있다.

일부 자세에서는 REBA Score가 9이상임에도 지각불편도는 REBA Score 9 미만인 자세들의 지각불편도보다 적은 것으로 나타나고 있다. 이러한 자세들은 다리를 굽히고 동시에 허리를 굽히는 자세들이며(그림 9), 이들 자세에 대한 지각불편도는 허리를 뒤로 젖히거나 팔을 어깨머리 위로 올리고 목을 뒤로 젖힌 채 작업을 하는 자세보다 더 높은 것으로 나타났다(그림 10). 그러나, REBA는 다리와 허리를 동시에 굽히는 자세의 부하를 더 높게 평가하고 있다.

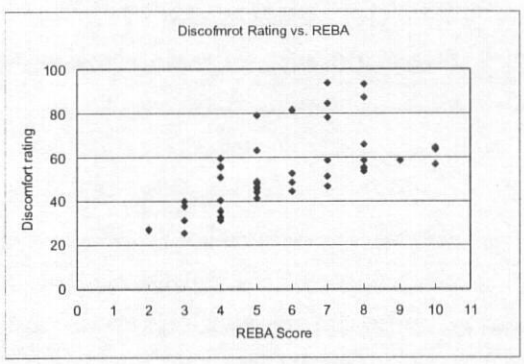

그림 8. 불편도와 REBA scores

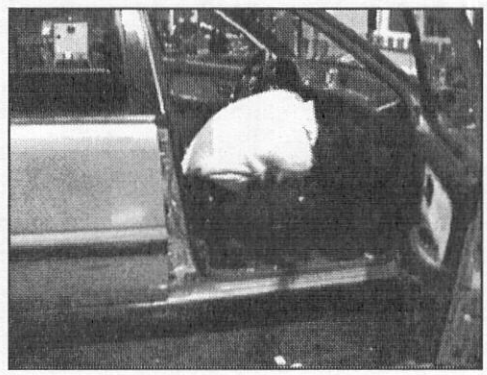

그림 9. 불편도에 비해 REBA Score가 높은 경우 (불편도 56, REBA Score 10)

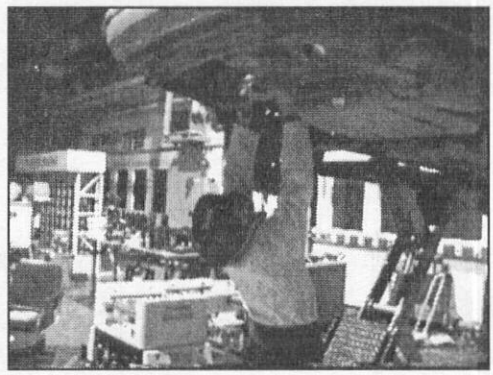

그림 10. 불편도에 비해 REBA Score가 낮은 경우 (불편도 93, REBA Score 7)

3.5 세 기법간의 비교

그림 11은 본 연구에서 대상으로 한 42개 자세에 대한 세 기법의 평가 결과를 나타낸 것이다. 이 결과는 42개 자세 중 허리의 신전 자세가 포함된 7개 자세에 대한 평가가 제외 된 것이다. 그림에서 OWAS는 REBA Score에 증가에 따라 증가하는 양의 상관관계를 가지는 것을 알 있다. RULA 역시 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타났지만,

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

OWAS에 비해 그 정도가 약한 것을 알 수 있다. RULA의 부하 수준은 REBA Score가 낮은 경우에도 3과 4의 값을 가지는 것으로 나타났다.

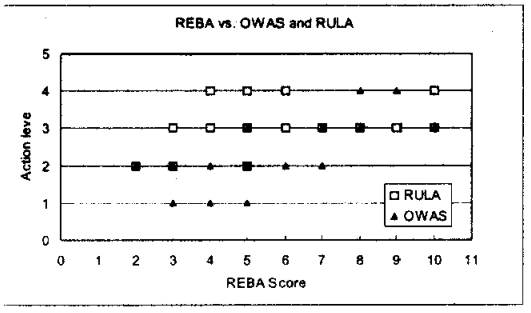

그림 11. 세 기법간의 비교

4. 논 의

OWAS, RULA, REBA를 이용해 평가한 42개 자세의 부하 수준과 지각불편도를 이용해 평가한 결과간의 상관관계는 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보였다($\alpha = 0.05$). 이 결과로부터 각 기법이 모두 작업자세 부하 평가 기법으로서 타당성을 가지는 것을 알 수 있다. 그러나, 각 기법의 부하수준과 지각불편도간의 상관계수가 REBA, OWAS, RULA의 순으로 나타났으며, 특히 REBA의 상관계수가 다른 두 기법의 상관계수에 비해 상대적으로 높은 값을 보이고 있다. 이러한 결과는 평가 기법에 따라 작업자세의 부하를 평가하는 타당성과 민감도에 차이가 존재하는 것을 의미한다. 따라서, 직업성 근골격계 질환의 위험 요인에 대한 평가를 더 정확히 수행하기 위해서는 적절한 평가기법의 선택이 필요한 것을 알 수 있다.

OWAS는 자세 분류 체계가 다른 두 평가 기법에 비해 상대적으로 단순하기 때문에 현장에서 이용하기 쉬운 장점이 있다. 그러나, 목과 손목의 자세가 평가 항목에 포함되어 있지 않기 때문에 일부 자세에서 지각불편도와 상이한 결과를 보인 것으로 나타났다. 그림 3과 4에서 두 자세는 모두 유사한 불편도를 유발했으나, 허리를 굽힌 경우에 OWAS 부하수준은 4인 반면 허리를 피고 팔을 올린 경우의 부하수준은 1이었다. 이는 그림 3의 자세에서 목과 손목이 신전 자세인 것이 OWAS에서 반영되지 않은 것이라 할 수 있다. 또한, OWAS에서 전반적으로 허리의 자세가 어깨의 자세에 비해 부하수준을 결정하는데 중요한 역할을 하는 것을 알 수 있다.

OWAS에서는 허리의 신전 자세가 포함되어 있지 않아서 이들 자세에 대한 평가도 불가능하다. 허리의 신전 자세는 작업자세로서 흔히 발생하지 않는 자세이지만 지각불편도 평가에서는 매우 높은 부하를 유발하는 것으로 나타났다. 자동차조립공정에서와 같이 머리 위에 있는 작업물을 대상으로 하는 경우에는 허리의 신전 자세가 발생할 수 있으므로 이에 대한 평가가 완전히 배제되어서는 안된다.

RULA는 하지의 자세에 대한 평가가 충분히 이루어지지 않아 지각불편도와 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서 평가된 자세들이 자동차 조립공정에서 많이 취해지는 작업자세를 대상으로 해 다양한 하지 자세가 나타나고 있는데 반해 RULA에서는 부하평가에 이를 충분히 반영하지 못하고 있

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

다. RULA에서는 하지 자세를 선 자세와 불균형 자세의 2개 항목만을 정의하고 있다. 이러한 특성으로 인해 RULA Score 4~7에 해당하는 자세의 지각불편도가 유사하게 분포하는 것으로 나타났다. 그림 6의 경우에 다리를 30°정도 굽히고 있음에도 RULA Score는 불편도에 비해 낮은 값으로 나타났고, 그림 7에서 선 자세임에도 불구하고 RULA Score는 불편도에 비해 높은 값을 보였다. 또한, RULA에서도 OWAS에서와 마찬가지로 허리의 신전 자세가 포함되어 있지 않아 이들 자세에 대한 평가가 가능하지 않다.

본 연구에서는 자동차 조립 공정을 대상으로 하여 전신의 작업자세를 평가하였기 때문에, 본 연구의 결과가 직접적으로 RULA가 좌식작업에 적합한 평가기법이라는 것을 의미하지는 않지만, RULA가 전신 자세보다는 상지의 자세를 평가하는데 더 적절할 것으로 추정된다.

REBA는 전반적으로 OWAS와 RULA에 비해 지각불편도와 양의 상관관계를 높게 보이고 있으나, 자세들간의 불편도 차이에 비해 REBA Score의 민감도가 떨어지는 것으로 나타났다. 그림 8에서 REBA Score가 증가할수록 지각불편도의 차이가 점차 증가하는 것을 알 수 있다. REBA가 불편도에 비해 부하를 낮게 평가하고 있는 자세들은 머리 위의 작업물을 대상으로 작업하는 경우가 많았으며(그림 10), 불편도에 비해 부하를 높게 평가하고 있는 자세들은 쪼그려 앉아서 허리를 굽히고 작업을 하는 경우가 많았다(그림 9). 이는 목과 허리의 신전자세에 대한 REBA의 평가가 상대적으로 과소평가되는 경향이 있는 것이며, 목과 허리의 굴곡자세와 다리를 쪼그린 자세에 대해서는 상대적으로 과대평가하는 경향이 있는 것을 나타낸다. 이러한 결과를 통해 REBA의 부하 평가 타당성에 대한 충분한 검증 연구가 필요하며, REBA를 통해 평가된 작업의 위험 요인에 대하여 세밀한 평가가 필요함을 알 수 있다.

자세 분류체계의 복잡성에 비추어 판단할 때 평가기법의 사용성은 OWAS, RULA, REBA의 순이라 할 수 있다. 그러나, 평가기법의 특성상 RULA는 전신의 작업자세의 부하를 평가하는데 부적합하다고 할 수 있으며, 전신의 작업자세를 평가하는데 있어서는 REBA가 OWAS보다 더 타당성이 크다고 할 수 있다. 따라서, 작업자세의 부하를 평가하여 직업성 근골격계 질환의 위험요인을 파악하고 제거하고 위해서는 작업 특성과 평가 기법을 사용성을 모두 고려하여 적절하게 선택할 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 관찰적 작업자세의 부하 평가 기법 중 대표적인 기법인 OWAS, RULA, REBA를 대상으로 심물리학적 불편도를 기준으로 하여 부하 평가를 비교 분석하였다. 연구 방법은 자동차 조립 공정의 대표적인 자세 42개를 대상으로 지각불편도와 각 기법을 이용하여 평가한 후에 평가 결과를 비교하였다. 평가된 부하 수준들의 값들간의 상관관계를 분석한 결과 세 평가기법 모두 지각불편도와 양의 상관관계를 보였으며, 상관계

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

수는 REBA, OWAS, RULA의 순이었다. 전신의 자세를 평가함에 있어서는 REBA가 가장 적합한 것으로 나타났으며, RULA는 다양한 하지의 자세를 평가에 반영하지 못해 전신의 자세를 평가하는 데는 부적절한 것으로 나타났다. OWAS는 전반적으로 불편도와 높은 상관관계를 보였지만 허리, 손목, 목 등의 자세에 대한 고려가 충분하지 않은 한계를 가지고 있다.

본 연구의 결과를 바탕으로, 관찰적 작업자세 평가기법을 이용하여 작업자세 부하를 평가할 때는 각 기법의 특성과 작업 및 작업자세의 특성을 고려하여 적절한 기법을 이용하는 것이 바람직하다. 또한, 관찰적 작업자세 평가기법은 빨리 많은 작업자세를 관찰하여 부하가 높은 작업을 판별하는 데는 적당한 방법이지만, 작업자세의 부하와 위험요인을 정밀하게 분석하여 비교하는 데는 한계가 있는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 한계점을 보완하고 작업의 특성에 맞는 기법을 보완 개발하는 노력이 필요하다.

본 연구에서는 중량물을 취급, 반복, 지속시간 등의 조건은 실험에 포함시키지 못하였기 때문에 각 기법의 비교에서 이러한 요인의 영향은 고려되지 못했다. 작업관련 근골격계 질환의 위험 요인을 평가하는 기법들을 적절히 이용하기 위해서는 작업자세 이외에 중량물 취급, 반복, 지속시간 등의 요소를 고려한 광범위한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 평가기법의 부하 평가 타당성을 지각불편도를 이용하여 분석하였다. 이는 작업자세의 부하 특성상 객관적이며 측정가능한 측정치가 적절한 것을 찾기 어렵기 때문이다. 그러나, 중량물 취급과 같은 다른 요소를 포함하는 경우에는 근전도, 인체역학적 분석 등을 통한 평가가 동반되면 더 객관적인 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

노동부, 2002, http://www.molab.go.kr.

Armstrong, T.J., "Upper-extremity postures: definition, measurement and control," In: E. N. Corlett, J. Wilson, and I. Manenica (Eds.), *The ergonomics of working postures*, Taylor & Francis, London, 59-73, 1986.

Bernard, B. (Ed.), *Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiological evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and lower back*, DHHS (NIOSH) Publication No. 97-141, US Department of Health and Human Services, 1997.

Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J. and Martin, B. J., *Occupational Biomechanics* (3rd Ed.), John Wiley & Sons, New York, 1999.

Faucett, J., Garry, M., Nadler, D. and Ettare, D., "A test of two training interventions to prevent work-related musculoskeletal

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

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* (2nd ed.), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1985.

Grandjean, E. and Hünting, W., "Ergonomics of postures - review of various problems of standing and sitting postures." *Applied Ergonomics*, 8(3), 135-140, 1977.

Hagberg, M., Siverstein, B., Wells, R., Smith, M. J., Hendrick, H. W., Carayon, P., Perusse, M., Kuorinka, I. and Forcier, L. (eds), *Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs): A reference book for prevention*, Taylor & Francis: London, 1995.

Han, S. H., Song, M. and Kwahk, J., "A systematic method for analyzing magnitude estimation data." *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23, 513-524, 1999.

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.

Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), KOSHA NET (http://www.kosha.net/), 2002.

Kroemer, K. H. E., "Cumulative trauma disorders: Their recognition and ergonomics measures to avoid them." *Applied Ergonomics*, 20(4), 274-280, 1989.

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.

Putz-Anderson, V., *Cumulative trauma disorders: A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs*, Taylor & Francis: London, 1988.

Westgaard, R.H. and Aarås, A., "Postural muscle strain as a causal factor in the development of

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

musculoskeletal illnesses." *Applied Ergonomics*, 15(3), 162-174, 1984.

Winkel, J. and Mathiassen, S. E., "Assessment of physical work load in epidemiologic studies: concepts, issues and operational considerations." *Ergonomics*, 37(6), 979-988, 1994.

World Health Organization (WHO), Health and environment in sustainable development: Five years after the earth summit, Geneva: WHO, 1997.

van Wely, P., "Design and disease." *Applied Ergonomics*, 1, 262-269, 1970.

저자 소개

◈ 이인석

현재 한경대학교 안전공학과 교수, 포항공과대학교 산업공학과 (학사, 석사, 박사), 관심분야: 인간공학, 인체역학, 산업안전, 제품디자인, Usability Engineering.

◈ 정민근

현재 포항공과대학교 산업공학과 교수, 서울대학교 (학사 - 산업공학), University of Michigan (석사 및 박사 - 산업공학), 관심분야: 인간공학, 안전공학, 응용통계 및 실험계획.

◈ 최경임

현재 포항공과대학교 산업공학과 Post Doc 연구원, 이화대학교 (학사-물리학, 석사-체육학), 포항공과대학교 (석사-기계공학, 박사-산업공학), 관심분야: 인간공학, 산업안전, 생체역학, 의공학.

논문접수일 (Date Received): 2003/01/25
논문게재승인일(Date Accepted): 2003/02/07

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.