Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 2 pp.205-210, May 2006

근골격계 부담작업 평가에서 개별장면의 대표값들과 전문가판정 결과 간의 비교*

박 재 희[1] · 곽 원 택[2]

[1]한경대학교 안전공학과 / [2]한경대학교 산업대학원 안전공학과

Comparison of the Representative Values of the Sampled Work Scenes with the Expert's Judgment in the MSD Workload Evaluation

Jae Hee Park[1], Won Taek Kwak[2]

[1]Department of Safety Engineering, Hankyong National University, Anseong, 456-749
[2]Graduate School of Technology, Hankyong National University, Anseong, 456-749

ABSTRACT

The workload assessment is very important in the MSD work survey and in the priority assignment for improving work environment. However, the results from the workload assessment could be varied by which representative value of a set of sampled work scenes is selected as well as by which ergonomic evaluation tool is applied. This study aimed to compare the representative values of a set of sampled work scenes with the expert's judgment in workload assessment. In this study, OWAS, RULA, and REBA were applied for the 32 elementary jobs of a medium-sized company, then mean, mode, median and maximum values were calculated for the jobs. In the non-parametric statistical analysis, there were statistically significant differences among the work scene selection rules for all evaluation tools. For OWAS, the mean value was most similar to the expert's judgment. On the other hand, when RULA and REBA were applied, the maximum value showed the least gap with the expert's opinion.

Keyword: Work scene, Workload assessment, MSD work, OWAS, RULA, REBA, Action level

1. 서 론

한국에서도 작업관련 근골격계질환(WMSD; Work related Musculo-Skeletal Disorders) 재해자가 급격히 증가하면서, 이에 대한 사업주의 예방 의무가 산업안전보건법 개정에 포함되었다. 그리고 2004년에는 근골격계 부담작업 유해요인조사가 처음 실시되었다. 이때 대부분의 기업들은 노동부에서 제시한 "근골격계질환 부담작업 유해요인조사 지침(KOSHA Code H-30)"을 사용해 조사를 수행하였다. 이 유해요인조사 지침에 의하면 어떤 단위작업의 근골격계질환 유해 정도는 작업부하(workload)와 작업빈도(frequency)의 곱으로서 평가되거나, 상대적인 근골격계질환 증상 호소율로 평가된다(한국산업안전공단, 2003).

그러나 이 방법들은 지나치게 단순해, 유해요인조사 지침은 이에 대한 보완으로 부록에 RULA(Rapid Upper Limb

교신저자: 박재희
주 소: 456-749 경기도 안성시 석정동 67, 전화: 031-670-5283, E-mail: maro@hknu.ac.kr

Assessment)나 REBA(Rapid Entire Body Assessment)와 같은 인간공학적 작업분석 평가도구를 사용할 것을 추천하고 있다.

실제 2004년 국내에서 실시된 첫 유해요인조사 과정에 인간공학 전문가들이 참여한 사업장에서는 대부분 이러한 평가도구들을 사용하였다. 평가도구들 중, 특히 RULA나 REBA는 작업자세를 위주로 하는 평가방법이어서 어느 작업에 대해서나 기본적인 평가방법으로 널리 사용되고 있다.

미국 내의 인간공학 전문가(Certificated Professional Ergonomists)들을 대상으로 한 조사에서도, 전문가들은 RULA 51.6%, OWAS 21.4%, REBA 17.9% 순으로 작업부하 평가나 재해보상 평가 과정에 사용하고 있다고 보고된 바 있다(Dempsey, McGorry and Maynard, 2005).

그런데 이러한 작업부하 평가도구들을 사용 시 평가 결과에 차이가 나타날 수 있어 이에 대한 고려와 주의가 요구된다. 평가 결과에 차이가 나타나게 하는 원인으로 여러 가지가 지적될 수 있으나 아래 두 가지 이유가 가장 주가 된다.

첫째, 단위작업을 평가할 때, 어떤 평가도구를 적용하느냐에 따라 평가 결과가 달라질 수 있다. 물론 각 평가도구들은 주로 어떤 특성의 작업에 사용하는 것이 좋은 지에 대한 가이드라인을 갖고 있기는 하다. 즉 RULA는 상지중심 작업, REBA는 전신작업 등에 사용하는 것이 좋다는 기준이 있다. 그러나 이는 절대 기준이 아니므로 평가자가 선택적으로 사용할 수 있다. 예를 들어 동일한 작업에 대해 RULA를 사용할 수도 있고, REBA를 사용할 수도 있다. 아니면 OWAS (Ovako Working Analysis System)를 적용할 수도 있다. 이때, 각 평가도구의 평가 기준이 서로 다르므로 평가 결과가 다르게 나올 수 있다. 이럴 경우 기업의 입장에서는 어떤 평가방법의 결과를 채택해야 할지 고민을 할 수 밖에 없다.

둘째, 한 평가방법을 적용해 어떤 단위작업을 평가한다고 하더라도, 연속된 작업 동작 중에 작업장면들(work scenes)을 표본으로 추출하고 어떻게 대표값을 선택하느냐에 따라서도 평가 결과가 서로 다르게 나올 수도 있다. 예를 들어 단위작업 안에 서로 다른 여러 개의 자세가 나타난다면 평가 결과는 자연히 작업장면 별로 다르게 나올 수 있다. 그렇다면 해당 단위작업의 최종 평가 결과는 어떤 특정 자세를 분석한 결과를 따를 것인지 아니면 평균값과 같은 대표값을 계산해 사용할 것인지에 따라 달라진다. 이럴 경우에도 기업의 입장에서는 개별 작업장면을 추출한 후, 어떤 대표값을 채택해야 할 지 고민할 수 밖에 없다.

위 문제 중, 첫째 문제에 관해서는 그 동안 여러 연구가 있었다. 이인석, 정민근, 최경임(2003)은 자동차 조립 공정의 42개의 작업에 대해 OWAS, RULA, REBA를 적용한 평가를 실시하고 이를 심물리학적 지각불편도와 비교하였다. 평가 결과, 지각불편도와 평가도구들 간의 상관계수는 REBA, OWAS, RULA 순으로 높은 것으로 보고하였다. 기도형과 박기현(2005)은 224개의 작업을 대상으로 한 연구에서 OWAS와 REBA가 업종에 관계 없이 RULA에 비해 작업부하를 낮게 평가한다고 보고하였다. 이와 비슷하게 곽원택과 박재희(2005)의 연구에서도 32개의 단위작업을 대상으로 한 연구에서 Action Level을 기준으로 한 작업부하 수준에서 RULA, REBA, OWAS 순으로 높게 평가하는 경향이 있다고 보고하였다. 따라서 이러한 작업도구 별 평가 경향을 파악하고, 평가도구를 선정, 적용한다면 평가 오류와 변이를 최소화할 수 있을 것이다.

반면 둘째 문제인 개별 작업장면들 평가 결과를 가지고 구하는 각 대표값들 사이의 차이를 조사하고, 최종 단위작업의 부하 판단 과정에서 주의해야 할 가이드라인을 제시한 연구 결과는 많지 않다. 단 OWAS의 경우 제안 당시부터 그 방법의 특성 상 작업장면을 연속 촬영하고 이로부터 여러 장의 표본을 추출해 평균값으로 작업부하 평가를 수행하는 것이 추천되고 있다(Karhu, Kansi and Kuorinka, 1977). Vedder(1998)는 화학섬유 공장의 작업에 대해 작업자세를 표본 추출하고, 각 자세에 대해 OWAS를 적용하여 그 평균값으로 작업부하를 분석한 바 있다.

REBA의 경우에도 작업자세의 변화가 많은 전신작업에 적합한데(Hignet and McAtamney, 2000), REBA를 적용할 때에도 표본 추출을 통한 분석이 요긴하다. Janowitza 등(2006)은 다양한 자세 변화가 나타나는 병원 업무에 대해 REBA를 적용 시 여러 자세를 표본 추출하고 REBA의 평균값으로 작업부하를 평가하였다.

RULA의 경우에는 VDT 작업과 같은 단순한 상지반복 작업을 대상으로 하므로 작업빈도가 높은 자세나 작업부하가 높은 자세를 작업장면들 중 대표값으로 취하는 것이 추천되고 있다(McAtamney, and Corlett, 1993).

이와 같이 개별 작업장면의 작업부하 평가값으로부터 대표값으로 무엇을 취할 지에 대해서는 아직까지 뚜렷한 가이드라인은 없고, OWAS와 REBA의 경우 표본 추출을 통한 분석과 이들의 평균값 적용이, RULA의 경우에는 빈도나 강도가 높은 작업을 선택한다는 일반적 원칙만이 제시되고 있을 뿐이다.

이에 본 연구는 대표적 작업자세 평가 기법인 OWAS, RULA, REBA에 대해서 개별 작업장면의 작업부하 평가값으로부터 대표값 선택방법을 달리 했을 때, 평가 결과가 어떻게 달라지는 지를 알아보고, 어떤 대표값이 가장 적절할 지에 대한 지침을 제시하기 위해 계획되었다. 이를 위해 실제 현장의 작업에 대한 유해요인조사를 실시하고 이에 대한 비교 분석을 실시하였다.

2. 연구 방법

2.1 대상작업

근골격계 부담작업 유해요인조사 시, 개별 작업장면 작업부하의 대표값 별 평가 결과의 차이를 알아보기 위해, 충남 소재의 에어필터를 생산하는 한 중소기업을 대상 작업장으로 선정했다. 이 공장의 에어필터를 생산하는 공정은 입고→절곡→접착→조립→가스켓작업→사상→포장 순서로 진행되는데, 이 공정을 모두 32개의 단위작업으로 나누었다. 그리고 32개 단위작업에 대해서 각 작업 별로 모든 작업 과정을 디지털 캠코더로 촬영하였다.

촬영된 테이프의 작업내용은 모두 컴퓨터에서 파일로 변경한 후, 30초의 일정한 간격으로 작업장면을 표본 추출하였다. 따라서 단위작업 소요시간이 30초 이하인 경우는 하나의 작업장면만이 선택되나, 1분을 넘기는 경우는 각 단위작업 별로 복수의 작업장면이 선정되었다. 작업장면 선정 결과, 32개 단위작업에 대해 전부 82개의 작업장면이 선정되었다. 그림 1에 단위작업에 대한 작업장면 선정 결과의 예를 나타내었다. 작업 1의 경우에는 작업시간이 2분 30초 이상으로 5개의 작업장면이 선정되었고, 작업 2의 경우에는 작업시간이 1분 이하로 한 개의 작업장면만이 선정되었다.

2.2 작업부하 평가

이후, 30초 간격으로 표본 추출된 각 단위작업의 작업장면들에 대해 작업부하 평가도구인 OWAS, RULA, REBA를 이용하여 작업부하를 평가하였다. 작업부하 평가는 평가 경험이 많은 전문가와 평가도구에 대한 교육을 받은 해당 공장의 관리자가 함께 협의하여 평가를 실시하였다. 평가 과정의 효율성을 위해 Excel VBA로 개발된 프로그램을 사용하였다(그림 2 참조).

OWAS, RULA, REBA의 작업부하 평가 결과는 1과 4 사이의 자연수 값인 Action Level로 나타나는데, 일반적으로 Action Level 3 과 4는 근골격계 부담작업으로 분류되고, 이에 대한 작업 개선이 요구된다. 평가 결과의 예가 그림 1에 나타나 있다.

그러면 이제 각 단위작업의 최종적인 작업부하(Action Level)를 어떻게 평가할 것인가 하는 문제가 발생한다. 예를 들어 작업 2의 경우는 추출된 작업장면이 하나이므로 최종 판단에 문제가 될 것이 없다. 하지만 작업 1의 경우에는 최종 작업부하를 어떻게 구해야 할 것인지 하는 문제가 발생된다.

현장에서 인간공학 전문가들이 근골격계 부담작업 유해요인조사를 실시할 때에는 보통 분석을 위한 충분한 시간이

단위작업	작업장면	OWAS	RULA	RBBA	작업장면사진
작업 1	1-1	1121 AL=1	RULA=3 AL=2	RBBA=2 AL=1	
	1-2	1121 AL=1	RULA=2 AL=1	RBBA=2 AL=1	
	1-3	1121 AL=1	RULA=3 AL=2	RBBA=3 AL=1	
	1-4	1121 AL=1	RULA=3 AL=2	RBBA=3 AL=1	
	1-5	1221 AL=1	RULA=3 AL=2	RBBA=4 AL=2	
작업 2	2-1	2121 AL=1	RULA=4 AL=2	RBBA=3 AL=1	
작업 3	3-1	1121 AL=1	RULA=3 AL=2	RBBA=3 AL=1	
	3-2	1121 AL=1	RULA=4 AL=2	RBBA=3 AL=1	
	3-3	1121 AL=1	RULA=3 AL=2	RBBA=2 AL=1	
	3-4	1121 AL=1	RULA=4 AL=2	RBBA=2 AL=1	

그림 1. 단위작업 장면 별 작업부하 평가 결과의 예

주어지지 않기에, 촬영된 비디오의 여러 작업장면 중 전문가의 판단에 의존해 한 장면을 선택한 후 그 값을 작업의 대표값으로 정하는 경우가 많다(박재희, 노상철, 이인석, 2005; 이인석, 박재희, 노상철, 2005).

그러나 그 작업내용에 정통하지 못한 사람들이 평가할 경우에는 어떻게 해야 하는가? 이런 경우 취할 수 있는 방법으로는 각 작업장면들의 작업부하 중 최대값(max)을 취하는 법, 아니면 중앙값(median), 최빈값(mode), 산술평균(mean) 등을 취하는 방법이 있을 수 있다. 본 연구에서는 전문가의 판단(exp)과 최대값, 중앙값, 최빈값, 산술평균 등 4가지의 대표값을 계산하여 그 차이를 비교하였다.

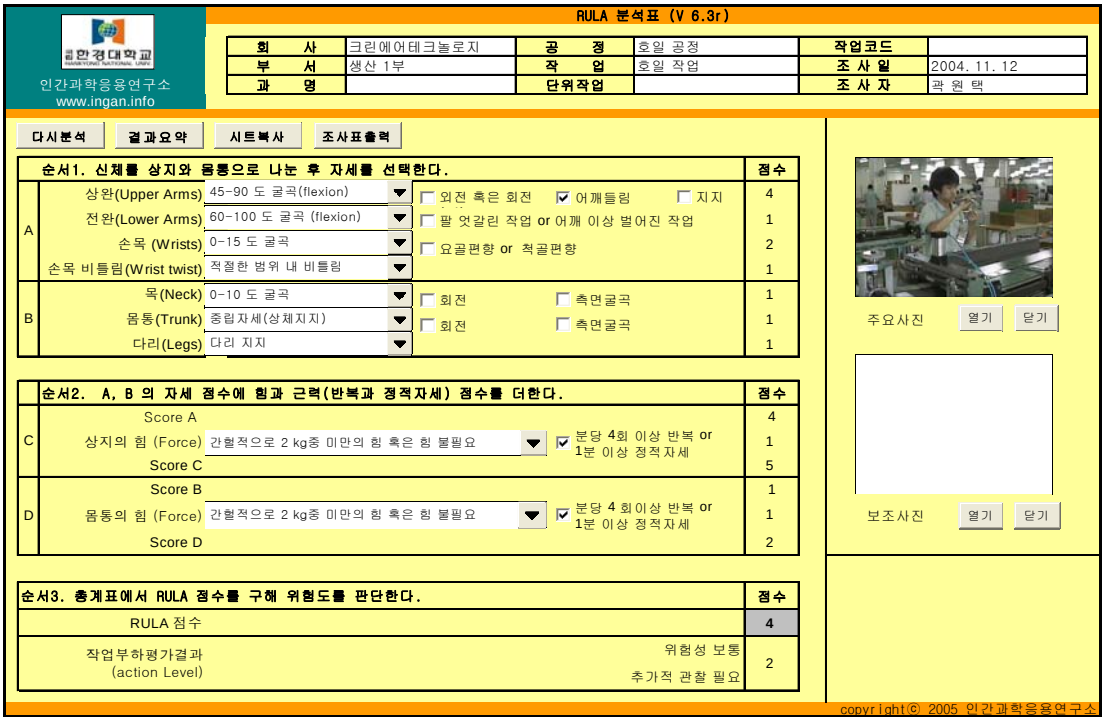

그림 2. 작업부하 평가를 위한 Excel VBA 프로그램

3. 연구 결과

각 평가방법(OWAS, RULA, REBA) 별, 각 개별 작업의 대표값(exp, max, mean, mode, median) 별로 32개 단위작업에 대한 평균 작업부하 평가 결과(Action Level)를 표 1과 막대그래프를 이용해 그림 3에 나타내었다. 이 그래프에서 우선 RULA가 REBA나 OWAS에 비해 작업부하를 높게 평가하는 경향이 있다는 것을 알 수 있다(곽원택, 2006).

그리고 본 연구의 주 목적인 각 분석도구 별로, 개별 작업장면의 대표값 간, 평가 결과에 통계적으로 유의한 차이가 있는 가를 알아보기 위해 비모수검정 방법인 Friedman 검정을 실시하였다. Friedman 검정은 종속변수가 순위척도와 같은 비모수적 성격을 갖는 모집단의 평균값을 비교하기 위해 사용하는 분석 방법이다. 여기서 비모수검정 방법을 선택한 이유는 Action Level 을 순위척도로 보고 분석하였기 때문이다. 검정결과는 표 2에 요약, 정리해 나타내었다.

SPSS를 사용하여 Friedman 검정을 실시한 결과, 유의수준 0.05에서 OWAS, RULA, REBA 모두에 대해 개별 작업장면의 작업부하 대표값에 따라 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(표 2 참조). 즉 개별 작업장면의 작업부하에서 대표값을 어떻게 선택하는 가에 따라 평가 결과가 달라질 수 있다는 것을 알 수 있다.

표 1. 평가도구 별, 대표값 별 평균 작업부하

	OWAS	RULA	REBA
Expert	1.81	2.72	2.06
Max	1.97	2.72	2.13
Mean	1.82	2.54	1.92
Mode	1.84	2.53	1.94
Median	1.86	2.55	1.94

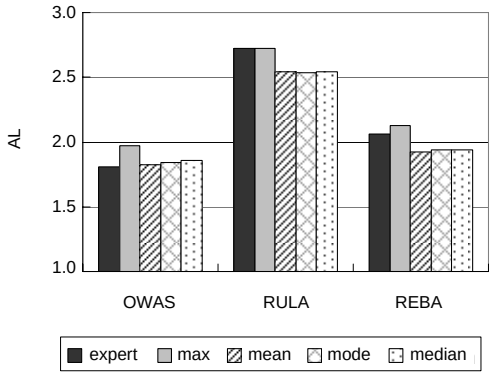

그림 3. 작업부하 평가 시 대표값들과 전문가 평가 결과의 차이

표 2. 작업부하 평가도구 별 대표값들의 차이 비모수 비교검정 결과

평가도구	Friedman 검정결과 유의확률(P)	Wilcoxon 부호등급 검정 결과	
		1그룹	2그룹
OWAS	0.017	mode, exp, mean, median	median, max
RULA	0.003	mean, mode, median, exp	mode, median, exp, max
REBA	0.033	median, mode, mean, exp	exp, max

그러고 각 작업부하의 대표값들 간에는 어떠한 차이가 있는 지를 추가로 알아보기 위해, 사후분석(post hoc analysis)으로 각 대표값 별 쌍을 지어 Wilcoxon 부호순위검정을 실시하였다. 검정결과 각 평가도구 별로 두 개의그룹으로 분류되었다(표 2 참조).

현장 관리자의 도움을 받은 인간공학 전문가의 작업장면 선택과 그 평가 결과(exp)를 기준으로 삼는다면, OWAS에서는 작업부하로 최대값(max)으로 취할 경우, 상대적으로 과대 평가가 이루어져 전문가의 판단과는 서로 다른 결과를 얻게 된다는 것을 알 수 있다. 이는 OWAS의 자세 분류가 단순하다는 특성에 기인하는 것으로, 상대적으로 어느 한 장면만이라도 높은 Action Level 값으로 평가되고 이것이 최대값이 될 수 있기에 나타나는 현상이다. 반면 산술평균(mean)이나 중앙값(median)은 전문가의 판단과 다르지 않다는 것을 알 수 있다. 실제 OWAS의 경우에는 산술평균을 사용해 작업을 평가하라는 권고를 하고 있다(Bruijn, Engels and VanDerGulden, 1988).

RULA에서는 최대값(max)을 취하는 경우와 산술평균(mean)을 서로 비교할 때 통계적으로 유의한 차이가 있고 나머지 조합의 경우에는 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 정적 혹은 단순반복의 특성을 갖는 작업을 평가하기에 적합한 RULA의 특성이 드러난 결과라고 생각된다. 통계적으로는 개별 작업장면들의 어떠한 대표값을 사용하든 전문가의 평가와 다르지 않지만, 전문가의 평가에 대한 편차가 가장 작은 방법은 최대값을 사용하는 경우이고 편차가 가장 큰 경우는 산술평균을 사용하는 경우이었다. 따라서 RULA를 적용 시 전문가의 평가에 가장 근접한 결과를 얻기 위해서는 개별 작업장면 중 가장 RULA 점수가 높은 자세를 분석하는 것이 추천된다.

REBA의 경우에는 최대값(max)이 전문가의 평가(exp)와는 차이가 없으나 나머지 선택 방법들과는 통계적 차이가 있는 것으로 나타났다. REBA의 경우에도 RULA에서와 마찬가지로 전문가의 평가와 가장 근접한 평가는 최대값을 사용하는 경우로 나타났다. 따라서 REBA를 현장 적용 시 RULA와 마찬가지로 여러 작업장면 중 최대값을 사용하는 것이 좋을 것이다.

4. 결 론

이상의 결과에 비추어볼 때 연속된 여러 작업장면에서의 작업부하 평가 시 최종적인 작업부하 평가에 대해서는 다음과 같은 가이드라인을 제시할 수 있을 것이다.

첫째, RULA나 REBA를 이용한 평가에서, 작업장면 중 가장 Action Level이 높은 최대값을 취하는 방법은 전문가의 판단과 크게 다르지 않다. 따라서 작업장면 중 가장 자세의 부하가 클 것으로 생각되는 장면을 선택해 분석하는 것은 합리적 방법이라 할 수 있다.

둘째, OWAS 분석에서는 지금까지 제시되어 온 것처럼, 산술평균을 사용해 작업장면을 평가할 때, 전문가의 평가와 가장 근접한 결과를 얻을 수 있다.

이상의 연구 결과는 단일 사업장에 대한 한 예를 분석한 것에 불과하므로, 이러한 결론에 대한 추가적 검증을 위해서는 다른 업종과 더 많은 수의 작업에 대한 추가적인 연구가 더 진행될 필요가 있다. 또한 본 연구에서는 표본 추출 간격을 30초로 하였으나, 이 또한 평가 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 생각된다. 표본 추출 간격이 작업부하의 대표값에 미치는 영향에 대해서도 별도의 연구가 진행될 필요가 있다.

참고 문헌

곽원택, *인간공학적 작업부하 평가도구에 따른 근골격계 부담작업 평가 결과의 차이*, 석사학위논문, 한경대학교, 2006.

곽원택, 박재희, 인간공학적 작업분석 평가도구에 따른 근골격계 부담작업 평가 결과의 차이, *2005년 춘계 한국안전학회학술대회논문집*, 161-166, 2005.

기도형, 박기현, 작업자세 평가 기법 OWAS, RULA, REBA 비교, *한국안전학회지*, 20(2), 127-132, 2005.

박재희, 노상철, 이인석, *한벨 헬리콥타 근골격계 부담작업 유해요인조사 및 예방관리프로그램 구축*, 한경대학교 인간과학응용연구소, 2005.

이인석, 정민근, 최경임, 지각불편도를 이용한 관찰적 작업자세 평가 기법의 비교, *대한인간공학회지*, 22(1), 43-56, 2003.

이인석, 박재희, 노상철, *젝셀발레오공조코리아 근골격계 부담작업 유해요인조사 및 예방관리프로그램 구축*, 한경대학교 인간과학응용연구소, 2005.

한국산업안전공단, 근골격계질환 부담작업 유해요인조사 지침, KOSHA code H-30, 한국산업안전공단, 2003.

Bruijn I. D., Engels J. A. and VanDerGulden J. W. J., A simple method to evaluate the reliability of OWAS observations, *Applied Ergonomics*, 29(4), 281-283, 1988.

Dempsey, P. G., McGorry R. W. and Maynard, W S., A survey of tools and methods used by certificated professional ergonomists, *Applied Ergonomics*, 36, 489-503, 2005.

Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment(REBA), *Applied Ergonomics*, 31, 201-205, 2005.

Janowitza, I. L. et al., Measuring the physical demands of work in hospital settings: Design and implementation of an ergonomics assessment, *Applied Ergonomics*, in press.

Karhu, O., Kansi, P. and Kuorinka I., Correcting working postures in industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-201, 1977.

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.

Vedder, J., identifying postural hazards with a video-based, occurrence sampling method, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 22, 37-38, 1998.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 박 재 희 ❖ maro@hknu.ac.kr

KAIST 산업공학과 박사
현 재: 한경대학교 안전학과 교수
관심분야: HCI, VR, 근골격계질환

❖ 곽 원 택 ❖ ks2716@hanmail.net

한경대학교 산업대학원 안전공학과 석사
현 재: 크린에어테크놀로지(주) 품질관리과장
관심분야: 근골격계질환, 인간공학

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 03월 03일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 05월 04일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 05월 09일