Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 2 pp.119-123, May 2006

인간공학적 작업부하 평가방법을 이용한 근골격계 부담작업 판정기준의 정확성 평가

박국무[2] · 류태범[1*] · 기도형[3] · 정민근[1]

[1]포항공과대학교 기계산업공학부 / [2]현대자동차 남양기술연구소 / [3]계명대학교 산업시스템공학과

Accuracy Evaluation of MSD-related Risky Work Criterion of Korea Ministry of Labor using Ergonomic Workload Evaluation Methods

Gukmu Park[2], Taebeum Ryu[1*], Dohyung Kee[3], Min K. Chung[1]

[1]Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH, Pohang, 790-784
[2]Namyang Technology Reasearch Center, Hyundai Motors, Hwasung, 445-760
[3]Department of Industrial System Engineering, Keimyung University, Daegu, 704-701

ABSTRACT

The present study evaluated the accuracy of MSD-related work criterion of Korea Ministry of Labor by using ergonomic workload evaluation methods. 1,948 manufacturing works in automobile industry were divided into 1,286 MSD-related risky works and 662 risk-free ones by using RULA, ANSI Z-365 and perceived discomfort evaluation. Then, the two types of works were evaluated by Labor Ministry work criterion to analyze the classification accuracy of the work criterion. The work criterion of Korea Labor Ministry had low hit and false alarm ratio(20 and 11%) and high miss and correct rejection ratio(80 and 89%), and the odd ratios of hit and correct rejection were 0.2 and 8.3, respectively. It can be concluded that the work criterion of Korea Labor Ministry is a conservative evaluation method which tends to evaluate a target work as risk-free.

Keyword: Musculoskeletal disorders, Risky work criterion, Accuracy evaluation, Odd ratio, Response bias

1. 서 론

국내 근골격계질환자는 1996년 506명에서 2003년에는 4,532명으로 7년 사이 9배 가량 증가할 만큼 급속히 증가하고 있다(노동부, 2004a). 이에 노동부는 근골격계질환을 감소시키고 예방하기 위해 근골격계질환 관련 사업주의 예방 의무를 법제화하였다. 이에 따라 사업주는 근골격계 부담작업에 대하여 유해요인조사와 작업환경개선 조치를 시행하여야 한다. 그리고 노동부는 근골격계 부담작업을 정의하기 위하여 별도로 노동부장관 고시로 부담작업 11개 항목을 제시하였다(노동부, 2004b).

노동부의 부담작업 판정기준은 인체부위별 작업자세, 작업시간, 빈도 그리고 작업물의 무게에 근거한 11개 항목으로 대상 작업들을 평가한다. 노동부 부담작업 판정기준은 미국 Washington State Caution Zone에서 규정한 11개 조항을 기반으로 제안된 것으로 알려져 있다. 노동부 판정기준의 세부 내용은 제 1항 '하루에 2시간 이상 목, 어깨, 팔꿈치, 손

교신저자: 류태범
주 소: 790-784 경북 포항시 남구 효자동 산31번지, 전화: 054-279-2848, E-mail: tbryu@postech.ac.kr

목 또는 손을 사용하여 같은 동작을 반복하는 작업'부터 제 11항 '하루에 총 2시간 이상 시간당 10회 이상 손 또는 무릎을 사용하여 반복적으로 충격을 가하는 작업'으로 구성된다. 그리고 평가대상 작업은 노동부 평가기준의 11개 항목에 1개 이상 해당될 경우 부담작업으로 판정된다. 그러나 현 노동부의 근골격계질환 관리 정책이 보다 큰 성과를 이루려면 근골격계질환 유해요인조사의 핵심인 부담작업 판정기준에 대한 정량적 평가와 개선이 필요하다. 노동부 부담작업 판정기준은 작업의 유해요인을 개선할 대상 작업을 결정하는 기준으로 유해요인조사 수행에 매우 중요한 역할을 한다. 그러나 노동부 부담작업 판정기준은 미국의 법안을 기준으로 제시되었을 뿐 판정기준의 검증절차가 없어, 기준의 정확성 및 평가특성에 대한 논의가 충분히 이루어지지 않은 한계를 갖고 있다. 노동부 판정기준의 정확성 및 특성에 대한 정량적 평가가 이루어진다면, 노동부 판정기준은 도출된 판정기준의 문제점 및 개선방향을 이용하여 적절히 개선될 수 있을 것이다.

본 연구는 인간공학적 작업부하 평가기법들을 이용하여 노동부 부담작업 판정기준의 정확성 및 판정특성을 정량적으로 파악하고자 한다. 본 연구는 평가대상 작업을 RULA (McAtamney et al., 1993), ANSI-Z 365(American National Standards Institute, 1997) 그리고 지각불편도로 평가하여 공통 부담작업과 비부담작업으로 볼 수 있는 작업들을 선정하였다. RULA는 작업의 자세부하 분석을 위해, ANSI Z-365는 유해요인의 종합적 고려를 위해, 지각불편도는 작업의 객관적 요인들과 더불어 주관적 요인을 고려하기 위해 사용되었다. 본 연구는 선정된 공통 부담작업과 비부담작업을 노동부 판정기준으로 평가하여 노동부 판정기준의 정확성과 판정특성을 정량적으로 분석하였다.

2. 연구 방법

본 연구는 노동부 판정기준의 정확성을 평가하기 위해 모 자동차회사의 생산작업을 평가대상 작업으로 선정하였다. 평가대상 작업은 조립부, 도장부, 차체부, 품질관리부, 프레스부 등 총 19개 생산부서의 1,948개 작업으로 구성된다. 각 작업의 자세와 방법은 캠코더로 직접 촬영되었고 작업의 빈도, 시간 그리고 작업도구의 무게는 설문을 이용하여 조사되었다. 자동차 생산작업들의 평가는 노동부 판정기준과 인간공학적 평가기법을 숙지한 인간공학분야 박사 4명과 대학원생 4명에 의해 수행되었다.

노동부 판정기준의 정확성 평가체계는 1) 공통 부담작업과 비부담작업 선정, 2) 노동부 판정기준을 이용한 공통 부담작업과 비부담작업의 평가의 두 단계로 구성된다(그림 1). 첫째, 본 연구는 공통 부담작업과 비부담작업을 선정하기 위해 평가대상 작업들을 기존 인간공학적 평가기법들과 작업자가 직접 평가한 지각불편도를 이용하여 평가하였다. 본 연구에서 공통 부담작업은 기존 인간공학적 기법들과 지각불편도를 이용한 평가에서 한 가지 이상의 평가기법이 작업개선을 요구하는 것들로 가정하였다. 그리고 공통 비부담작업은 기존 인간공학적 기법들과 지각불편도를 이용한 평가에서 공통으로 작업개선을 요구하지 않는 것들로 선정되었다. 작업개선을 요구하는 작업의 기준은 인간공학적 평가기법들의 조치수준의 내용을 참조하여 정하였다. RULA의 경우 평가점수(grand score)가 5점 이상으로 조치수준이 '근시일내에 작업개선이 필요한 작업' 이상인 것을 작업개선 요구작업으로 선정하였고, ANSI-Z 365의 경우 평가점수가 10점 이상으로 조치수준이 '저위험성 초과작업' 이상인 것을 작업개선 요구작업으로 선정하였다. 작업에 대한 지각불편도는 해당 공정들의 총 1,900여 명 작업자들을 대상으로 한 전신불편도 설문으로 조사되었고 5점을 기준으로 지각불편도 4점 이상인 작업을 작업부담이 높은 것으로 가정하였다.

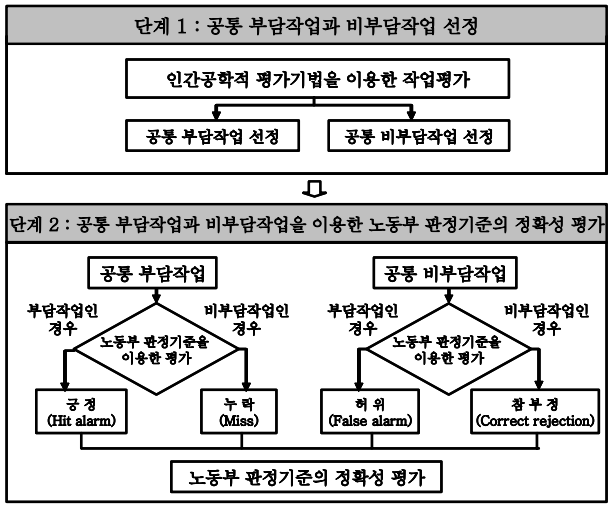


그림 1. 노동부 판정기준의 정확성 평가체계

둘째, 본 연구는 파악된 공통 부담작업과 비부담작업을 노동부 판정기준으로 평가하여 그 정확성을 평가하였다. 공통 부담작업과 비부담작업은 노동부 판정기준으로 평가되어 표 1과 같이 긍정(hit alarm), 누락(miss), 허위(false alarm)그리고 참부정(correct rejection)의 4가지 경우로 분류되었다. 예를 들어 긍정(hit alarm rate)인 경우는 공통 부담작업이 노동부 판정기준으로 평가되어 노동부 부담작업으로 판정되는 것이다. 노동부 판정기준은 긍정과 참부정인

경우가 많을 수록 그 정확성이 높을 것이며, 반면에 누락과 허위인 경우가 많을수록 그 정확성 낮아질 것이다.

표 1. 노동부 판정기준의 정확성 구분

판정 구분	평가결과	설 명
노동부 판정기준이 정확히 판정한 경우	긍정 (Hit alarm)	공통 부담작업이 노동부 판정기준에 의해 부담작업으로 평가된 경우
	참부정 (Correct rejection)	공통 비부담작업이 노동부 판정기준에 의해 비부담작업으로 평가된 경우
노동부 판정기준이 오판한 경우	누락 (Miss)	공통 부담작업이 노동부 판정기준에 의해 비부담작업으로 평가된 경우
	허위 (False alarm)	공통 비부담작업이 노동부 판정기준에 의해 부담작업으로 평가된 경우

3. 연구 결과

3.1 공통 부담작업과 비부담작업의 선정

평가대상 작업들을 RULA, ANSI Z-365 그리고 지각불편도로 평가한 결과 1,948개 작업들은 그림 2와 같은 밴다이어그램으로 분류되었다. 집합 A, B 그리고 C는 평가대상 작업들을 RULA, ANSI Z-365 그리고 지각불편도로 평가시 작업개선을 요구하는 작업들을 각각 포함한다. 집합 D는 RULA, ANSI Z-365 그리고 지각불편도로 평가시 작업개선이 요구되지 않는 작업들을 포함한다. 집합 A, B 그리고 C에 포함된 작업개수는 600에서 800개 정도의 작업개수를 포함하였고, 집합 A와 B, A와 C 그리고 B와 C의 교집합은 300에서 400개 사이의 작업개수를 포함하였다. 또한 집합 A, B 그리고 C의 합집합에 포함된 작업의 개수는 집합 D=$(A \cup B \cup C)^c$에 포함된 작업들의 개수보다 약 두 배가 많았다(나머지 집합에 포함된 작업의 수는 그림 2참조).

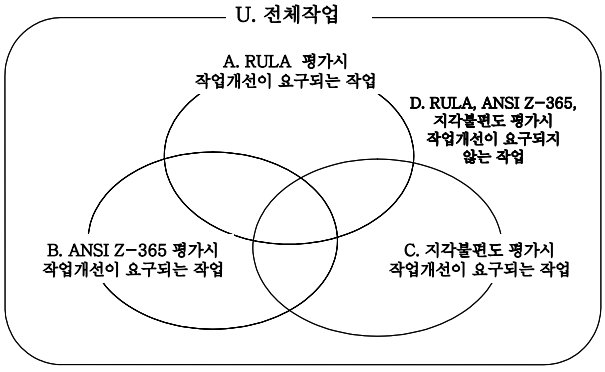


그림 2. 평가작업들에 대한 인간공학적 기법들의 평가결과: A: RULA 평가시 5점 이상인 작업, B: ANSI Z-365 평가시 10점 이상인 작업, C: 지각불편도 평가시 4점 이상인 작업, n(A)=833, n(B)=654, n(C)=687, n(A∩B)=382, n(A∩C)=400, n(B∩C)=321, n(A∪B∪C)=1,286, n(A∩B∩C)=215, n(D)=n(A∪B∪C)^c=662

본 연구는 세 가지 평가기법 중 한 개 이상의 평가기법에서 작업개선을 요구하는 작업을 공통 부담작업으로 그리고 공통적으로 작업개선을 요구하지 않는 작업을 공통 비부담작업으로 선정하였다. 따라서 그림 2의 밴다이어그램에서 공통 부담작업은 집합 A, B 그리고 C의 합집합(A∪B∪C)이며, 따라서 공통 부담작업은 1,286개, 공통 비부담작업은 662개로 선정 되었다.

3.2 노동부 판정기준의 정확성 평가

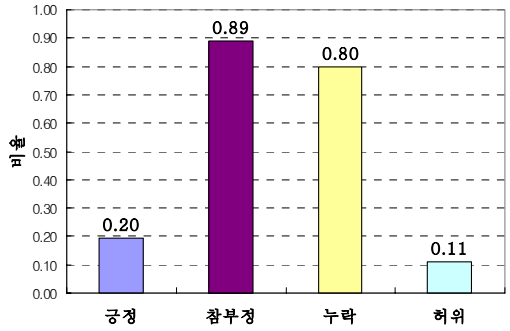
본 연구는 노동부 판정기준의 정확성을 평가하기 위하여 본 연구에서 선정된 공통 부담작업과 비부담작업을 노동부 판정기준으로 평가하였다. 공통 부담작업과 비부담작업은 노동부 기준의 11개 항목으로 평가되어 노동부 부담작업과 비부담작업으로 구분된다. 공통 부담작업과 비부담작업을 이용한 노동부 기준의 정확성 평가결과는 노동부 기준이 정확히 판정한 경우인 긍정과 참부정 그리고 오판한 경우인 누락과 허위로 구분되었다(표 2). 평가결과, 긍정인 작업들은 251개, 참부정인 작업들은 591개 누락인 작업들은 1,035개 그리고 허위인 작업들은 71개로 파악되었다. 따라서 노동부 판정기준이 정확히 판정한 작업들은 긍정과 참부정에 해당하는 작업들의 합인 842개, 부정확하게 판정한 작업들은 누락과 허위에 해당하는 작업들의 합인 1,106개였다.

표 2. 평가기준으로 구분된 작업개수

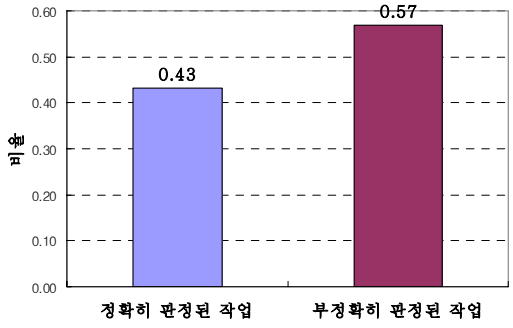
평가기준	노동부 부담작업	노동부 비부담작업	총계
공통 부담작업	251(긍정)	1,035(누 락)	1,286
공통 비부담작업	71(허위)	591(참부정)	662
합	322	1,626	1,948

본 연구는 노동부 판정기준이 정확히 판정한 경우인 긍정과 참부정의 비율 그리고 오판한 경우인 누락과 허위의 비율을 표 2의 작업개수를 이용하여 파악하였다. 긍정과 누락의 비율은 긍정과 누락에 포함된 각각의 작업개수를 공통 부담작업의 개수로 나누어 파악되었다. 참부정과 허위의 비율은 참부정과 허위에 포함된 각각의 작업개수를 공통 비부담작업 개수로 나누어 파악되었다. 긍정, 참부정, 누락 그리고 허위의 비율은 각각 0.20, 0.89, 0.80 그리고 0.11이다(그림

3[a]). 노동부 기준이 정확히 판정한 경우와 오판한 경우의 비율은 긍정과 참부정 작업개수 합 그리고 누락과 허위 작업개수 합을 전체평가 작업수로 나누어 파악되었다. 노동부 기준이 정확히 판정한 경우와 오판한 경우의 비율은 각각 0.43와 0.57으로 파악되었다(그림 3[b]). 따라서 노동부 기준은 정확히 판정된 작업의 비율보다 부정확하게 판정된 작업의 비율이 다소 높은 것으로 파악되었다.



(a) 긍정, 참부정, 누락, 긍정인 작업의 비율



(b) 정확히 판정된 작업과 부정확히 판정된 작업의 비율

그림 3. 노동부 판정기준의 정확성 평가결과

본 연구는 노동부 판정기준의 정확성을 좀더 자세히 분석하기 위해 긍정, 누락, 허위 그리고 참부정의 비율을 이용하여 승산비를 파악하였다. 승산비는 정확히 판정한 비율을 오판한 비율로 나눈 값으로 정의된다(전치혁 외, 2004). 본 연구에서 승산비는 긍정 비율을 누락 비율로 나눈 긍정 승산비와 참부정 비율을 허위 비율로 나눈 참부정 승산비로 구분하여 파악되었다. 일반적으로 승산비의 값이 1보다 크면 오판율이 낮아 평가기법의 정확성이 높고, 1보다 작으면 오판율이 높아져 평가기법의 정확성이 떨어진다. 본 연구에서 파악된 긍정 승산비는 0.24이고, 참부정 승산비는 8.32였다. 따라서 노동부 기준은 긍정 승산비의 값이 1보다 작아 공통 부담작업이 노동부 부담작업으로 판정될 가능성이 낮으며, 참부정 승산비는 1보다 크기 때문에 공통 비부담작업이 노동부 비부담작업으로 판정될 가능성이 높다고 볼 수 있다.

또한, 본 연구는 노동부 판정기준의 특성을 파악하기 위해 긍정과 허위의 비율을 이용하여 응답특성(response bias)을 파악하였다. 먼저, 응답특성의 계산방법은 Gescheider (1997)의 방법에 따라 긍정과 허위 비율에 대한 정규분포의 z값을 각각 파악한다. 그리고 각각의 z값에 해당하는 확률밀도함수의 Y축 값을 파악하여 긍정 비율의 Y축 값과 허위 비율의 Y축 값을 나누어 계산한다. 따라서 노동부 기준의 응답특성은 긍정 비율의 Y축 값(0.28)을 허위 비율의 Y축 값(0.19)으로 나눈 1.47로 파악되었다. 일반적으로 응답특성은 1보다 크면 판정기준이 보수적이고, 응답특성의 값이 1보다 작으면 판정기준이 급진적으로 평가된다(Gescheider, 1997). 응답특성이 1보다 큰 노동부 기준은 긍정과 허위의 비율이 낮고 참부정과 누락의 비율이 높기 때문에 평가대상 작업을 비부담작업으로 평가할 가능성이 높은 보수적인 평가기법으로 볼 수 있다.

4. 토 의

본 연구는 노동부 판정기준을 신호검출이론에 기반하여 평가한 결과 긍정과 허위의 비율이 낮아 평가대상 작업을 대부분 비부담작업으로 평가할 가능성이 높은 보수적인 평가기법으로 파악하였다. 긍정(0.20)과 허위(0.11)의 비율을 이용하여 파악된 노동부 판정기준의 응답특성은 1보다 큰 1.47이므로 노동부 기준이 보수적인 평가기법임을 알 수 있다. 노동부의 판정기준은 평가대상 작업의 자세, 중량물의 무게, 사용빈도 그리고 노출시간에 대부분 문제가 있을 경우 부담작업으로 판정한다. 예를 들어, 작업자세, 중량물 무게 측면에서 부담이 매우 높은 작업일 지라도 노출시간이나 빈도가 설정기준 보다 작다면 노동부 기준은 평가대상 작업을 비부담작업으로 평가한다. 근골격계질환은 작업자세, 중량물의 무게, 사용빈도 그리고 노출시간과 같은 원인들 중 어느 한 요인에 의해서도 발생할 수 있습니다. 따라서 대부분의 요인들에 문제가 있는 경우에만 부담작업으로 판정하는 노동부의 기준은 보수적 평가방법으로 볼 수 있다.

노동부 판정기준은 평가대상 작업의 자세, 중량물의 무게, 사용빈도 그리고 노출시간 측면에서 설정기준 초과 여부만을 파악하는 정성적 방법으로 여러 측면들의 다양한 조합관계에 의한 부담작업 가능성을 고려하는데 한계가 있다. 작업자세, 중량물의 무게, 사용빈도 그리고 노출시간 등의 다양한 요인의 복합적인 영향을 고려하여 작업의 부담작업 여부를 판정하여야 하나, 노동부 판정기준은 이분법적인 단순한 기준으로 부담작업들을 한정하고 있다. 반면, 인간공학적 평

가기법들은 작업자세, 중량물의 무게, 사용빈도 그리고 노출시간을 세밀한 기준으로 평가한 후 각 요인의 복합적 영향을 정량화하여 종합적으로 작업부담을 평가한다.

5. 결론 및 추후연구

본 연구는 노동부 판정기준의 정확성을 정량적으로 분석하기 위해 긍정, 참부정, 누락 그리고 허위인 작업의 비율을 파악하여 승산비와 응답특성을 이용한 노동부 기준의 특성을 파악하였다. 본 연구에서 노동부 기준은 평가대상 작업을 비부담작업으로 판정할 가능성이 높은 보수적인 평가기법으로 파악되었다. 그리고 전반적인 평가의 정확도는 낮았으며 공통 부담작업보다 비부담작업을 정확히 판정할 가능성이 높은 것으로 파악되었다. 따라서 노동부 기준은 부담작업 판정의 정확성을 높이기 위해 자세부하 평가의 정확성을 높이고 노출시간에 중점을 둔 평가기준들이 개선 되야 할 것이다. 이러한 본 연구의 결과를 바탕으로 판단하여 볼 때, 노동부에서 정한 근골격계 부담작업에 해당되면 공학적 혹은 관리적 개선을 하여야 하는 것으로 해석하고 있는 노동부, 한국산업안전공단 등의 견해에는 문제가 있다 할 수 있다.

본 연구는 노동부 판정기준의 정확성을 정량적으로 분석했다는 측면에서 기존의 연구에 비해 장점을 갖고 있으나, 노동부 기준의 정확성을 보다 정확히 평가하기 위해선 다음과 같은 추후 연구가 필요하다. 첫째, 본 연구는 세 가지 평가기법을 이용하였으나 보다 신빙성 있는 노동부 기준의 정확성 평가를 위해서는 다양한 인간공학적 평가기법을 이용한 연구가 필요하다. 둘째, 본 연구는 자동차 제조현장의 작업들을 평가대상으로 노동부 기준의 정확성을 평가하였기 때문에 다양한 제조현장의 작업들을 대상으로 노동부 기준의 정확성을 평가해 볼 필요가 있다.

참고 문헌

노동부, 산업재해통계, 2004.

노동부, 근골격계질환 예방 의무해설, 2004.

전치혁, 이혜선, 정민근, *공학응용통계(개정판)*, 홍릉과학출판사, 2004.

American National Standards Institute, *Control of work related cumulative trauma disorders(Z-365)*, Itasca, IL: National Safety Council, 1997.

Gescheider, G. A., *Psychophysics the fundamentals(3th)*, Lawrence Erlbaum Associates, 1993.

McAtamney, L. and Corlett E. N., A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99, 1993.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 박 국 무 ❖ abomin@postech.ac.kr
포항공과대학교 산업경영공학과 석사
현 재: 현대자동차 남양연구소 연구원
주요 관심분야: 작업장 설계, HCI, 제품디자인

❖ 류 태 범 ❖ tbryu@postech.ac.kr
포항공과대학교 산업공학과 석사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 박사 과정
주요 관심분야: 보행분석, 동작분석, 인체측정

❖ 기 도 형 ❖ dhkee@kmu.ac.kr
포항공과대학교 산업공학과 박사
현 재: 계명대학교 산업시스템공학과 교수
주요 관심분야: 산업안전, 인체역학

❖ 정 민 근 ❖ mkc@postech.ac.kr
Univ. of Michigan 산업공학과 박사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 교수
주요 관심분야: 산업안전, 인체역학, 응용 통계 및 실험 계획

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 03월 03일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 04월 07일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 04월 28일