Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 4 pp. 435-444, August 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.4.435

작업평가방법론 및 현장 적용 고찰

박 재 희

한경대학교 안전공학과

A Survey on the Workload Evaluation Methods and Their Applications to WMSD Work in Industries

Jae Hee Park

Department of Safety Engineering, Hankyong National University, Anseong, Gyeonggi-do, 456-749

ABSTRACT

To identify and evaluate the risk factors in WMSD work, a number of ergonomic workload evaluation methods have been developed. In the legal examination of WMSD risk factors, simple observational workload evaluation methods are widely used instead of using costly measurement equipments such as EMG and motion analyzer. The simple workload evaluation methods can be categorized into three groups; risk factor checklist methods, posture observation methods, and manual material handling task evaluation methods. In terms of the categories, this survey summarized several representative workload evaluation methods and compared them each other. Then some industrial application cases referring each the workload evaluation methods were surveyed. Due to the characteristics of each method, the selection and application procedure of workload evaluation method should be appropriate for the corresponding work. Therefore, some guidelines for the selection and application procedure of workload evaluation method were suggested.

Keywords: Workload evaluation, WMSDs, WMSD risk factors, KOSHA code H-30

1. 서 론

산업 현장에서 이루어지는 작업 평가(work evaluation)의 대부분은, 해당 작업이 근로자에게 부과하는 작업 부하(workload)를 측정, 평가해 근로자에 대한 작업의 유해도(hazard level)를 알아보고 이에 따른 작업 개선 등을 하기 위해 수행되는 것을 의미한다. 이때 작업자에게 가해지는 작업부하를 객관적으로 측정, 평가하기 위해 수많은 인간공학적 방법들이 개발되어 사용되고 있다.

본 연구에서는 이러한 인간공학적 작업부하 평가방법들을 개괄하고, 특히 근골격계질환과 관련해 '근골격계 부담작업 유해요인 조사'에 사용되고 있는 작업부하 평가 방법들을 비교, 소개하고 이들의 현장 적용 방법과 적용 사례 등을 살펴볼 것이다. 그리고 최종적으로 각 작업 상황에 맞는 적절한 작업부하 평가 방법을 선택하는 요령과 이들을 가지고 근골격계 부담작업 유해요인 조사를 하는 절차에 대해서도 제안할 것이다.

작업자에게 부과되는 작업부하의 종류는 크게 정신적 작업부하(mental workload)와 육체적 작업부하(physical workload)로 나눌 수 있다. 정신적 작업부하 평가는 주임무척도, 부임무척도, 생리적 척도, 주관적 평가척도를 이용해 수행할 수 있다(Meshkati et al., 1995).

상대적으로 육체적 작업부하를 평가하는 방법은 훨씬 더

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

다양한 방법들이 개발되어 있다. 육체적 작업 중 평상 시보다 빠른 심장 박동을 수반하고 전신(whole body) 활동이 나타나는 동적 작업(dynamic work)은 주로 심장박동수(heart beat)나 산소소모량(혹은 에너지소모량)을 측정해 평가할 수 있다(Kilbom, 1995).

이와 달리 신체 자세의 유지 등과 같은 정적 작업(static work)에 대해서는 EMG 측정을 통한 근육활동도의 평가나 인체 자세와 이에 부과되는 힘을 측정해 이를 생체역학적 모형을 이용해 분석하는 방법 등이 사용되고 있다(Corlett, 1995; Tracy, 1955).

그러나 동적 작업이던 정적 작업이던 이러한 방법들은 산소소모량 측정장치, EMG, 동작분석기 등과 같은 측정장비 등이 요구되어, 산업 현장에서 직접 사용하거나 기업의 근골격계 부담작업 유해요인 조사와 같이 많은 수의 작업에 대한 평가가 요구되는 경우에는 사용하기가 어렵다.

이런 경우 측정장비 등을 이용하지 않고, 주로 간단한 작업자세 관찰 등에 근거한 간이적 평가방법 등이 사용될 수 있다. 간이적 작업부하 평가방법들은 측정장비를 사용하는 경우보다 정밀도는 떨어질 수 있으나, 적용 방법이 쉽고 간편하다는 장점을 갖는다. 이러한 장점으로 인해 수많은 간이적인 작업부하 평가방법들이 개발되어 사용되고 있다(김정룡, 2004).

우리나라 한국산업안전보건공단도 근골격계 부담작업 유해요인 조사에 사용할 수 있는 8가지의 간이적 작업부하 평가 방법을 KOSHA code H-30 지침에 제시하고 있다(한국산업안전보건공단, 2003). 이 방법들은 기업이 KOSHA code H-30에 의해 유해요인 기본조사를 실시한 후, 작업별 세부적인 인간공학적 작업부하 평가가 필요할 경우 사용할 것을 권장하고 있다.

이에 의해 2004년부터 2006년까지 근골격계 부담작업 유해요인 조사를 실시하며 추가로 인간공학적 작업부하 평가기법을 하나라도 사용한 기업을 대상으로 조사한 결과, 조사 시 평가기법을 활용한 빈도는 다음 그림 1과 같다(기도형 등, 2007). 이에 의하면 설문조사에 응답했던 그룹이 사업주나 근로자 상관없이 기업들은 근골격계 부담작업 유해요인 조사에서 RULA, REBA, OWAS, NLE 등의 순서로 작업부하 평가방법을 사용했던 것으로 나타났다.

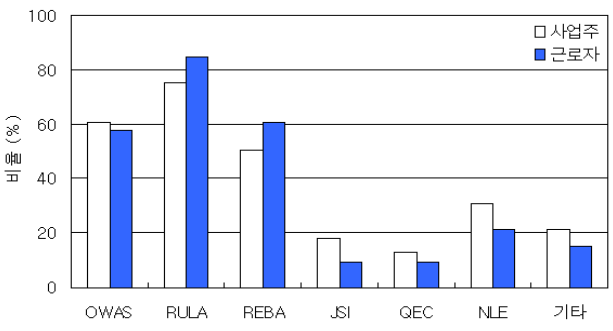

그림 1. 인간공학적 작업평가 도구의 사용비율

본 연구에서는 이와 같은 간이적 작업부하 평가방법들에 대해 각 방법들의 특징과 상호 비교되는 장단점, 그리고 적용 사례 등을 살펴 볼 것이다. 간이적 작업부하 평가방법들은 다양한 방법에 의해 분류될 수 있으나, 여기에서는 체크리스트 방법, 자세 관찰을 위주로 하는 방법, 중량물 취급작업에 대한 평가방법 등으로 나누어 정리하였다.

2. 작업부하 평가방법들과 그 특징

2.1 체크리스트 평가방법

체크리스트 평가 방법은 다른 방법들에 비해 일반적인 평가 항목을 가지고 근골격계에 영향을 미치는 작업의 위험요소를 찾아내거나, 작업부하의 정도를 간단히 평가하는 방법이다. 체크리스트 방법은 RULA나 NLE와 같은 구체적인 평가방법을 사용하기 전, 문제가 되는 작업을 일차적으로 선별하는 데에도 사용될 수 있다. 문제가 되는 작업을 선별하는데 사용되는 체크리스트로는 WAC-296-62-05105 (05174), HSE risk assessment worksheet 등이 있고, 작업부하를 정량화 시켜 부하 정도를 알아보는 체크리스트로는 ANSI-Z365, QEC 등이 있다.

2.1.1 WAC 296-62-05105(05174)

WAC 296-62-05105와 WAC 296-62-05174는 미국 워싱턴주의 규정(Washington Action Code; WAC)중, 일반 산업보건표준(general occupational health standards)의 하나로 근골격계질환 유해작업에 대한 범위 등을 규정하고 있으며, 그 안에 체크리스트를 포함하고 있었다(Washington State, 1996). 법률은 2003년 폐지된 상태이나, 근골격계 부담작업 평가를 위한 체크리스트는 법률과 상관없이 사용될 수 있을 것이다.

WAC 05105는 작업에 대해 주의가 요구되는 Caution Zone 작업을 규정하고 있으며, WAC 05174는 Hazard Zone 작업을 규정하고 있다. 이중 WAC 05105는 우리나라 노동부의 근골격계 부담작업에 대한 고시 제정에 많은 참조가 되었다(노동부, 2003).

WAC 05105 체크리스트는 작업자세와 부하에 대한 14개 문항을 포함하고 있으며, 별도로 들기작업을 평가하는 항목과 진동공구 사용에 대한 평가 항목을 담고 있다. WAC 05174도 기준만 05105에 비해 강화되어 있을 뿐 비슷한 내용을 담고 있다.

WAC 중 작업자세와 부하에 대한 체크리스트를 이용한

연구는 거의 없다. 단 WAC의 들기작업 기준과 NLE 등 다른 들기작업 평가 방법과 비교한 연구는 있다(Russell et al., 2007).

2.1.2 HSE risk assessment worksheets

영국의 산업보건안전청(HSE; Health and Safety Executive)은 2002년 상지질환 예방에 관한 지침(HSG 60)을 개정하면서, 이에 포함된 상지질환의 유해도 평가를 수행할 수 있는 체크리스트를 개발하였다(Graves et al., 2004).

이 체크리스트는 2단계로 이루어져 있다. 우선 filter라는 예비 체크리스트를 사용해 증상, 반복, 자세, 근력, 진동 등 5개 항목 중 어느 하나라도 체크가 되면 본 평가용지를 사용해 전체적인 평가를 하도록 하고 있다.

본 체크리스트는 반복, 손/손가락 자세, 어깨/팔 자세, 머리/목 자세, 근력, 작업환경, 사회심리적요인, 개인차 등 8개 항목 별로 세 항목을 나누어 평가를 하도록 되어 있다.

평가 결과는 점수화 되지 않고 단지 문제점을 찾아내고 이에 대한 개선대책을 수립하도록 되어 있다.

2.1.3 ANSI-Z365

ANSI-Z365(Management of Work Related Musculo-skeletal Disorders)는 작업관련 근골격계질환 관리와 관련한 미국의 표준으로 개발되어 현재는 초안(draft) 상태에 있는 문서를 말한다(ANSI, 1995). 이 표준에는 근골격계질환 부담작업에 대한 작업부하를 평가할 수 있는 체크리스트를 포함하고 있다.

ANSI-Z365 체크리스트에는 근골격계질환 요인인 반복성, 부하, 작업자세 등 모두 17개의 평가 항목을 포함하고 있으며 각 항목별 노출 시간에 따른 배점이 있어서, 체크된 항목들의 총 점수로 작업부하의 위험도를 평가하게 된다. 체크리스트의 점수 합이 10점 미만인 경우 '안전'한 것으로 평가되고, 15점까지는 '약간위험'으로 16점 이상은 '위험'한 작업으로 간주된다.

이 체크리스트를 산업에 응용한 예로는 미국 농업부문 중 종묘산업체 작업 평가에 사용된 적이 있다(Meyers et al., 1997)

2.1.4 QEC(Quick Exposure Check)

QEC는 1998년 영국 Surry 대학에서 근골격계 부담작업의 작업부하를 평가하기 위해 개발한 체크리스트이다(David, et al., 2008).

개발초기에는 평가 기준 등이 미비하였으나, 꾸준한 평가, 보완 작업이 있었다. QEC는 다른 체크리스트와 달리, 일부는 조사자가 일부는 작업자가 나누어서 체크하는 것으로 되어 있다.

조사자가 체크한 항목과 작업자가 체크한 항목은 서로 교차되어 교차된 지점의 점수를 가지고 작업부하를 평가하게 된다. 작업의 위험도는 신체부위별로 평가하게 되는데 가장 최악의 경우 얻을 점수에 대한 상대적 점수 비율로 작업부하를 평가한다. QEC는 작업자들의 참여를 보장한다는 점에서 장점을 가지고 있다.

2.1.5 GM-UAW risk factor checlist

미국 GM 사의 노동조합(Union of Auto Workers)에서 자동차 공장 내의 근골격계 유해요인을 평가하기 위해 개발한 체크리스트로 자동차 업종에 적용할 수 있는 평가 방법이다(Keyserling et al., 1992).

2.2 작업자세 위주 평가방법

작업 자세 관찰을 통한 작업부하 평가 방법인 OWAS가 개발된 이래, 작업자세 관찰을 위주로 한 작업부하 평가방법은 그 수도 많고 가장 널리 사용되고 있다.

이러한 방법들은 넓은 범주로 보면 체크리스트 방법으로 볼 수 있으나, 앞에서 분류한 체크리스트 방법들에 비해, 작업 자세에 대해 세분화된 분류를 지향하고 있다는 점에서 작업자세 위주 평가 방법으로 분류할 수 있을 것이다.

2.2.1 OWAS(Ovako Working Posture Analysis System)

OWAS는 핀란드의 철강회사인 Ovako와 핀란드 산업보건연구원(FIOSH)이 공동 개발한 자세를 위주로 한 작업부하 평가 방법이다(Karhu et al., 1977).

이 방법은 작업자의 자세를 팔, 허리, 다리 등 인체를 세 부위의 자세로 구분해 분류한 후 여기에 부하까지 고려해 작업을 코딩한 후, 각 코드에 해당하는 Action level을 가지고 작업부하를 평가한다. Action level은 1에서 4등급으로 분류되는데, 높은 점수의 등급일수록 부하가 큰 작업으로 간주된다.

OWAS는 작업 자세 분류가 매우 단순해 적용이 쉽다는 장점을 가지나, 반대로 작업 자세 분류가 세밀하지 못한 것이 단점이라 할 수 있다. 그렇기 때문에 OWAS는 순간의 작업 자세보다 작업 사이클 전체를 촬영한 후 일정 간격으로 샘플링 된 작업 장면에 대해 각각 작업 부하를 평가한 후, 그 평균 값으로 작업을 평가하는 것이 일반적이다(Vedder, 1998).

OWAS는 최초 철강공장에 적용된 것에서 알 수 있듯이 작업 자세가 다양하게 변하는 비정형 작업 등에 적용되고 있다. 외국의 사례로는 Kivi and Mattila(1991)가 건설업에, Scott and Lambe(1996)이 양계업에 사용한 것을 비롯 매우 다양한 업종에 적용한 사례를 가지고 있다. 국내에서 OWAS를 적용한 사례로는 조선업에 이를 적용한 구본언 등

(2007)의 연구와 양계업에 적용한 이관석과 이상희(2007)의 연구가 있다.

2.2.2 RULA(Rapid Upper Limb Assessment)

RULA는 영국 노팅험대학에서 상지 중심의 작업을 평가하기 위해 개발된 방법이다(McAtamney and Corlett, 1993). RULA는 OWAS에 비해 작업 자세를 더 세분화해서 평가하며, 반복성과 정적 자세 요인이 평가에 추가로 고려되고 있다. 이 방법은 작업 자세를 상지의 자세와 목 · 허리 · 다리의 자세로 나누어 각각 평가한 후, 여기에 부하와 반복성(혹은 정적자세)을 추가로 고려해 작업부하를 평가한다. RULA의 작업부하 평가 후 등급 부여는 OWAS와 동일한 방법을 취했는데, RULA의 최종 평가 결과도 Action level을 4단계로 나누어 평가한다.

RULA는 원래 VDT 작업과 같은 상지를 위주로 하는 작업을 평가하기 위해 개발된 것으로, 다리 등에서 무릎 굴곡이 나타나거나 전신 운동이 나타나는 작업 분석에는 적합하지 못하다.

RULA를 적용한 사례로는 Massaccesi et al.(2003)에 의한 트럭 운전사의 작업부하를 평가한 예가 있다. Burnetta and Campbell-Kyureghyan(2010)의 연구는 병원의 초음파 스캐닝 작업을 대상으로 적용한 사례이다. 국내에서도 RULA는 매우 다양한 업종과 작업에 적용되었다. 최명관 등(2006)은 치과의사의 진료작업 분석에 이를 응용했다. 장성록(2007)도 조선업종에 이를 적용했다.

2.2.3 REBA (Rapid Entire Body Assessment)

RULA가 상지 작업 위주의 평가를 목적으로 개발되었기에 전신 작업에 적용하는 데에는 문제가 있었다. 이에 RULA를 개발했던 팀이 이와 비슷한 절차를 따르는 전신작업 작업부하 평가기법인 REBA를 개발했다(Hignett and McAtamney, 2000).

REBA는 RULA와 마찬가지로 신체를 상지의 자세와 목 · 허리 · 다리의 자세로 나누어 평가한다. 다만 최종적인 점수를 고려할 때 물건을 들 때의 손잡이에 대한 평가 등이 추가되었다. 최종적인 작업부하 평가는 RULA와 약간 다르게 Action level을 0~4등급으로 분류해 5단계로 평가한다. 그러나 이 Action level에서도 3, 4등급으로 평가 받은 작업은 개선 대상 작업으로 고려되기에 OWAS나 RULA와 작업부하 평가 결과를 비교해볼 수 있다.

REBA를 이용한 최초 평가는 간호사의 환자 이송 직무이었는데, 이처럼 REBA는 전신을 사용하는 비정형 작업 평가에 유용하다. Jones and Kumar(2007)는 제재소 작업에 REBA를 다른 작업부하 평가방법과 함께 적용해 비교한 연구결과를 발표했다. 국내에서 REBA를 평가에 사용한 사례로는 김상호(2008), 구본언 등(2007)의 연구가 있다.

2.2.4 JSI(Job Strain Index)

JSI는 미국산업위생사협회(ACGIH)의 Moore and Garg (1995)가 주로 상지 말단인 손과 손목의 작업부하를 평가하기 위해 개발한 방법이다.

이 방법은 OWAS, RULA, REBA와는 성격이 다른 평가방법이다. JSI에서는 작업의 강도(IE), 지속시간(DE), 반복(EM), 손/손목의 자세(HWP), 작업속도(SW), 작업지속시간(DD) 등 6개 변수에 대해 각각 평가를 하여 승수(multiplier) 값을 얻은 후, 그 전체 승수들의 곱으로 JSI 값을 구해 작업부하를 평가한다.

$$JSI = IE \times DE \times EM \times HWP \times SW \times DD$$

이때 최종적인 JSI 값이 3 미만이면 안전하다는 평가를 하나, 7 이상이면 위험한 작업으로 판단한다.

이 방법은 상지 말단의 근골격계 부담에 대한 작업부하 평가를 정량적으로 할 수 있다는 장점을 갖는 반면, 전체적인 자세를 평가할 수는 없다.

Bao et al.(2009)은 약 700여명의 다양한 직종의 사람들을 대상으로 JSI 기법을 적용해 분석을 실시한 바 있다. Cabecas(2007)는 40여 개의 청소작업에 대해 JSI 방법을 적용해 작업부하를 평가한 바 있다. 국내에서 JSI를 작업분석에 활용한 사례로는 최명관 등(2006)이 치과의사의 작업을 대상으로 분석한 연구가 있다.

2.3 중량물 취급작업 평가방법

작업자세 관찰기법은 주로 불편한 작업자세가 나타나는 작업평가에는 적절하게 사용될 수 있다. 그러나 중량물을 수동으로 취급하는 작업에 적용하기에는 근력 사용 등에 대한 고려가 부족한 측면이 있다. 이에 중량물 들기와 같은 작업 평가에는 별도의 전문적인 평가 방법들이 개발되어 사용되고 있다. 이러한 방법들로는 NLE, Snook table, MAC, 3D SSPP 등이 있다.

2.3.1 NLE(NIOSH Lifting Equation)

NIOSH(미국산업안전보건연구원)는 들기작업과 관련한 그간의 역학적, 생체역학적, 생리학적, 심물리학적 연구결과들을 종합하여 들기작업의 조치한계(AL; Action Limit)와 들기작업의 최대허용한계(MPL; Maximum Permissible Limit)를 정량적으로 구하는 수식인 NLE를 개발한 바 있다(NIOSH, 1981). 이 방법은 1991 년 비대칭성 자세의 들기작업과 커플링(coupling) 등을 포함해 응용범위를 더

확장해 개정되었는데, 개정된 방법에서는 들기작업의 권고중량한계(RWL; Recommended Weight Limit)와 들기지수(Lifting Index)를 이용해 작업 부하를 평가한다(Waters et al., 1993).

여기서 RWL은 손의 수평위치와 관련한 HM, 손의 수직위치와 관련한 VM, 물체의 수직이동거리와 관계되는 DM, 몸통의 회전각과 관련한 AM, 작업빈도인 FM, 손잡이 유형을 표시하는 CM 등 6개의 승수를 최대 허용중량인 23kg에 곱해 계산하게 된다. 그리고 최종적으로 작업의 위험도는 실제 무게(L)를 권고중량한계(RWL)로 나눈 들기지수(LI)를 가지고 판단한다. LI가 1을 초과하면 위험한 작업으로 판단한다. 특히 3을 초과하면 중량물 인양장치 등의 설치 등 공학적 개선이 요구되는 것으로 본다.

$$RWL = 23 \times HM \times VM \times DM \times FM \times CM$$
$$LI = L / RWL$$

1991년 개정된 NLE방법은 산업 현장의 들기/내리기 작업 분석에 있어서 가장 널리 통용되고 있는 방법이다. 그러나 NLE는 한손 들기작업이나 나르기 작업 등에 대해서는 적용이 불가능하다. 또한 산업현장의 대다수의 작업이 다단적재작업과 같은 복합들기 작업이 현실에는 많으나, 복합들기작업의 수식을 적용하는 과정이 복잡해 일반적으로 적용이 어렵다는 단점을 갖는다(박재희, 2009).

NLE는 수많은 현장 적용 사례를 가지고 있다. Ciriello and Snook(1999)는 미국에서 13년 동안 2,442개의 수동물자취급작업(manual material handling task)을 조사했는데, 이 중에 들기/내리기 작업에 대해서는 NIOSH 들기작업 수식을 적용해 그 위험도를 평가 한 바 있다. Okimoto and Teixeira(2009)는 자동차부품 공장에서의 들기 작업에 대해 NLE를 적용한 바 있다. 국내에서도 Chung and Kee(2000)는 내화벽돌 제조공의 들기 작업에 대한 분석에 NLE를 적용한 바 있다. 기도형(2006)은 간호사의 환자 이송 작업에 NLE 적용이 적절할 수 있음을 보여주었다.

2.3.2 MAC(Manual Handling Assessment Charts)

MAC는 영국 산업보건안전연구원(HSL; Health and Safety Laboratory)에서 들기/내리기 작업, 나르기 작업, 팀 물자취급 작업을 평가하기 위해 개발한 방법이다(Monnington et al., 2002).

이 평가방법 중 들기/내리기 작업에 대한 평가는 취급하는 중량물의 무게와 빈도, 손의 수평위치, 손의 수직위치, 몸의 비대칭, 들기자세의 제약, 커플링, 바닥의 마찰, 환경조건 등 8개 항목으로 나누어 평가하여 점수를 부여한 후 총점으로 작업의 부하를 평가한다.

나르기 작업에서는 평가 항목에 이동거리, 이동 경로상의 장애물 등의 평가항목이 들어가고, 팀 물자취급 작업에서는 팀내 의사소통/협력 항목이 추가되는 것을 제외하고 평가요령 등은 동일하다.

평가 결과가 정량화된 점수로 표현은 되나 절대적 기준이 없는 점은 문제점으로 지적될 수 있다.

2.3.3 Snook table

Snook table은 들기, 내리기, 밀기, 끌기, 나르기 등 다섯 종류의 모든 수동물자취급작업(manual material handling task)에 대해 허용 가능한 중량물 혹은 힘을 표로 나타낸 것이다(Snook and Ciriello, 1991).

들기/내리기 작업에서는 중량물의 너비, 수직이동거리, 시점과 종점의 위치, 분당 작업 회수 등이 변수로 고려된다. 밀기/끌기 작업에서는 손의 수직위치, 이동거리, 작업빈도 등을 고려한다. 이 방법은 수동물자취급 전체에 대한 적용이 가능하다는 면에서 장점을 가지나, 표에 제시된 변수들 값의 간격이 넓어 중간 값에 대해서는 보간(interpolation)을 해야 하는 불편이 있다.

Das et al.(2002)은 병원의 환자식사 운반 카트의 재설계 과정에 Snook table의 기준을 이용한 바 있다.

2.3.4 3D SSPP(Static Strength Prediction Program)

3D SSPP는 미국 미시간 대학의 Chaffin 교수에 의해 개발된 방법으로, 중량물 취급 작업을 생체역학적 모형에 의해 작업 부하를 평가하는 방법이다(Chaffin, 1997).

기본적으로 작업자의 키와 몸무게 데이터, 5개 인체 관절 부위의 관절각 값을 입력해주면, 준비된 역학모델에 의해 각 관절 별 수용 가능한 작업자 %값과 척추의 L5/S1 지점에 걸리는 압축력을 예측해 작업이 기준을 초과하는 지 그 정도를 정량적으로 보여준다.

Feyen et al.(2000)은 자동차 조립 공정에 3D SSPP 모델을 적용해 작업부하에 대해 시각적으로 평가하는 적용 사례를 보여주었다. 우리나라에서도 김상호(2008), 기도형(2006) 등이 SSPP를 사용해 들기 작업을 분석한 예가 있다.

2.4 진동작업 평가방법

2.4.1 ACGIH의 hand/arm vibration

미국산업위생사협회(ACGIH)는 진동이 발생되는 공구 사용 시 손과 손목 등에 가해지는 부담에 대한 기준을 만들어 평가할 수 있도록 했다(ACGIH, 2001).

물론 이 방법은 간이적 방법은 아니다. 손의 x, y, z 세 축에서의 진동가속도를 측정하고 진동공구의 사용 시간을 입력하면, 일 최대 작업 허용시간을 나타낸다. Armstrong

et al.(2002)은 주조공장에서의 진동공구 사용 작업에 대한 측정을 한 후 이를 ACGIH의 기준과 비교하였다.

2.5 주관적 설문지 평가방법

설문지 방법은 작업 부하를 받는 작업자가 직접 그 강도를 평가하는 방법으로 작업자가 직접 평가하는 면에서는 장점을 가지나, 객관성과 신뢰성에 문제가 있을 수 있어 작업 부하 평가 시 보조적으로 사용될 수 있다. 대표적인 것으로 Borg RPE Scale이 있다.

2.5.1 Borg RPE Scale

Borg RPE(Ratings Perceived Exertion) Scale 은 주로 스포츠 등에서 주관적으로 지각하는 운동 부하를 평가하기 위해 Borg에 의해서 개발된 것이다(Borg, 1982).

처음에는 6~20점 사이에서 평가했으나, 나중에 0~10점 사이의 값을 갖는 CR10 scale를 사용했다. 이 척도는 근골격계의 부하 정도를 평가하는 데에도 사용된다. 박국무 등(2006)의 연구에서 Borg scale이 사용된 예가 있다.

3. 작업부하 평가방법 간 비교

앞에서 살펴보았듯이 작업부하를 평가하는 방법은 매우 많고 그 특징들도 다르다. 따라서 이러한 방법들을 선택해 사용함에 있어 각 방법들의 특징을 잘 이해하고 사용하는 것은 매우 중요하다. 이에 각 방법들을 사용할 때 참고 할 수 있도록 범주 별 평가방법들을 비교해 요약하였다.

3.1 체크리스트 평가방법 간 비교

체크리스트 방법들은 기본적으로 다양한 근골격계질환 유해요인을 고루 포함한다는 공통점을 갖는다. WAC 296-62-10505, HSE risk assessment worksheets, ANSI-Z365, QEC 모두 불편한 자세, 반복성, 과도한 근력(힘과 중량물), 진동 등 기본적인 근골격계질환 유해요인 평가 항목 등 을 포함하고 있다. 단, 저온, 작업속도, 스트레스 등의 평가항목에 대해서는 평가방법마다 포함 여부를 달리하고 있다(표 1 참조).

체크리스트 평가방법 중 WAC 296-62-10505, HSE risk assessment worksheets는 작업의 유해요인을 찾아내는 데만 사용되고 평가 결과를 정량화 할 수 없는 반면에 ANSI-Z365나 QEC는 정량화가 가능해 작업 간 부하정도를 비교하거나 개선 작업 선정 기준으로도 사용될 수 있다.

표 1. 체크리스트 방법 간 비교

		WAC	HSE	ANSI	QEC
자세	목	O	O	0	O
	어깨/팔	O	O	0	O
	손		O	0	O
	허리	O	O		O
	다리/무릎	O	O		
반복		O	0	O	O
중량물(하중)		O		O	O
힘		O	0		O
진동		O	0	O	O
접촉		O		O	
저온			0	O	
작업시간		O		O	
작업속도			0	O	O
정적자세		O		O	O
시각작업					O
운전작업					O
키보드작업		O		O	
스트레스					O
개인차			0		
결과		유해요인의 도출	유해요인의 도출	ANSI score	신체부위별 점수와 %
장점		단순	2단계(예비,본)평가	다양한 평가항목	근로자 참여
단점		정량화 없음	상지작업에 국한	항목별 비중 미고려	다소 복잡

3.2 작업 자세 위주 평가방법 간 비교

대표적 작업 자세 위주 평가방법인 OWAS, RULA, REBA는 유사한 면도 있지만, 그 특성도 서로 크게 달라 작업부하 평가 시 적절한 방법을 선택해야만 한다. 표 2에는 작업자세 위주의 평가방법들의 평가 항목과 평가 결과, 그리고 장단점을 정리하였다.

이에 의하면 OWAS는 평가 항목이 적어 정밀도를 희생하는 대신, 평가가 단순해 빠른 시간 내에 많은 장면을 분석할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 OWAS는 작업장면의 변화가 심한 분석 등에 적합하며, 각 작업장면들의 평균값 등으로 작업부하 대푯값으로 삼으면 좋을 것이다.

표 2. 작업 자세위주 평가 방법 간 비교

		OWAS	RULA	REBA	JSI
자세	목		O	O	
	팔	O	O	O	
	손		O	O	O
	허리	O	O	O	
	다리	O		O	
정적자세			O	O	
반복			O	O	O
부하(힘/무게)		O	O	O	O
지속시간					O
작업속도					O
커플링				O	
결과(output)		AL:1-4	AL:1-4 RULA score	AL:0-4 REBA score	JSI
장점		단순	검증 사례 다	전신작업 평가가능	결과 지수화
단점		정밀도 저하	상지작업 국한	추가 검증 요	수작업 국한

반면 RULA나 REBA는 자세의 변화가 적은 작업에 적합하며 해당 작업의 대표적인 자세를 취해 분석을 실시하는 것이 일반적이다.

세 방법 모두 Action level 이라는 동일한 판정기준을 제시하고 있어 상호 비교가 가능하다. 이런 점에 착안해 기도형과 박기현(2005)은 OWAS, RULA, REBA를 사용해 철강, 전자, 자동차, 화학 산업의 224개 작업에 대해 평가한 결과, 하지 자세나 업종에 관계 없이 RULA가 OWAS나 REBA에 비해 상대적으로 작업부하를 높게 평가하는 것으로 지적했다. 따라서 작업부하 평가방법의 선택에 따라 평가결과가 달라질 수 있다는 점에 유의할 필요가 있다.

3.3 중량물 취급작업 평가방법 간 비교

중량물 취급작업에 대한 평가를 위주로 하는 방법들은 앞의 작업자세 관찰기법들과 다르게 유사한 방법을 취하지 않고 있어 일괄적인 비교는 어렵다. 표 3에는 NLE를 비롯해 중량물 들기 작업을 평가할 수 있는 네 가지 방법을 비교 요약하였다.

이 가운데 NLE와 MAC의 평가 항목이 유사하나, 평가 과정에서 NLE가 상대적으로 계산적이고 자세하나 MAC는 이산적 점수로만 평가가 이루어진다.

표 3. 중량물 들기 작업 평가 방법 비교

	NLE	MAC	Snook	3D SSPP
키와몸무게			O	O
관절각				O
최대무게(kg)	23		개인차	
무게	O	O	O	O
빈도	O	O	O	
지속시간	O			
시점	O	O	O	O
종점	O			
이동거리	O		O	
자세 비대칭	O	O		O
커플링	O	O		
바닥 마찰		O		
자세 제약		O		
결과(output)	권장무게 한계	점수	최대 허용무게	L5/S1 압축력
	들기지수		수용%	수용%
장점	신뢰도 고	팀작업 평가가능	수동취급 종합적	역학적 분석사용
단점	다소 복잡	절대 기준미비	보간필요	자세측정요 다소난해

기도형(2006)은 환자이송작업에 있어 NLE와 SSPP 값을 서로 비교해 둘 사이의 결과가 유사하게 나오는 것을 밝혔다. Russell et al.(2007)은 동일한 작업에 대해 NLE, Snook Table, 3D SSPP, WAC, ACGIH의 들기작업 기준 등 5가지 방법을 비교해 그 차이를 분석한 바 있다.

4. 작업부하 평가방법의 적용

일반적으로 작업관련 근골격계질환의 발생 요인으로는 과도한 근력, 부적절한 자세, 과도한 반복, 장시간 무휴식, 진동, 접촉 스트레스, 저온 등이 제시되고 있다. 이러한 요인 가운데 자세, 부하, 반복, 시간, 진동을 한 축으로 하고 근골격계질환 발생 신체부위를 한 축으로 하는 교차표를 만들어 볼 수 있다. 그리고 이 표 위에 지금까지 언급된 인간공학적 작업 부하 평가방법들의 평가 항목을 고려해, 각 방법들의 적용될 수 있는 범위를 그려보았다(그림 2 참조).

여기서 ANSI, WAC, QEC와 같은 체크리스트 평가방법들은 대부분의 유해요인과 신체부위를 포괄하고 있다는 것

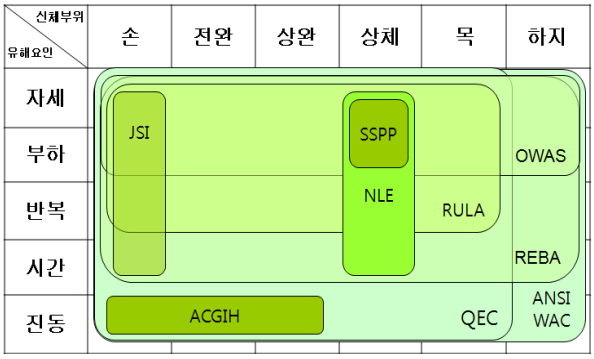

그림 2. 유해요인과 신체부위에 따른 유해요인 조사 방법의 선택

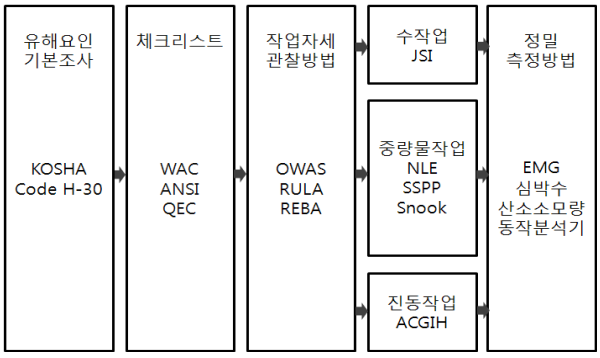

그림 3. 적절한 근골격계 부담작업 유해요인 조사 절차

을 알 수 있다. 이런 체크리스트들은 범용성은 있으나 전문적인 부분에서의 정량적 평가가 약할 수밖에 없다. 반면에 상대적으로 NLE, SSPP, JSI, ACGIH의 진동 평가기준은 그 적용범위가 좁으나 전문적이라 할 수 있다. 따라서 근골격계 부담작업 유해요인 조사나 작업부하 평가 시 평가의 목적과 범위에 따라 적절한 방법을 선택해 사용할 필요가 있을 것이다.

그러면 이러한 방법들을 산업체의 근골격계 부담작업 유해요인 조사에 사용하는 절차는 어떻게 하는 것이 좋을까?

한국산업안전보건공단은 근골격계 부담작업 유해요인 조사시 KOSHA code H-30에 의거해 작업의 부하 × 빈도와 같은 일반적 위험성평가 방법과 같은 형태로 수행하도록 하고 있다(한국산업안전보건공단, 2003). 이는 작업의 위험도를 일괄적으로 평가할 수 있으나, 지나치게 주관적이고 변별력이 없는 문제점을 가지고 있다. 그럼에도 KOSHA code에서 부하 × 빈도로 근근골격계 부담작업 유해요인 조사 방법으로 제정한 것은 전문인력의 지원을 받기 힘든 대다수 소규모 기업의 현황을 반영한 것이다.

그렇다면 유해요인 기본조사 적용 후, 여력이 있는 기업은 체크리스트를 가지고 전반적으로 사업장 내의 모든 작업을 일괄 평가해보는 것이 좋을 것이다. 체크리스트로는 ANSI-Z365나 QEC 등이 추천된다. 그중 QEC는 신체부위별 위험도를 알 수 있고, 작업자의 참여가 가능한 장점을 갖는다.

체트리스트를 통해 어느 정도 문제가 있다고 판단되는 작업이 있으면, 이 작업들에 대해서는 작업 자세 위주의 평가기법인 OWAS, RULA, REBA 등의 적용을 하면 좋을 것이다. 모든 작업은 작업자의 자세를 동반하기에 어느 작업에 대해서도 이 평가기법들은 적용될 수 있다. 단 상지 중심 작업은 RULA, 전신작업은 REBA, 작업자세의 변화가 심한 경우는 OWAS 를 이용하는 대신 샘플링을 많이 해 평균값으로 평가하는 것이 좋을 것이다.

작업자세 위주의 평가를 마치면, 작업이 수동물자취급작업인지, 상지 중심적 수작업인지, 진동공구를 사용하는 지의 여부에 따라 평가방법을 사용하는 것이 좋을 것이다. 중량물 들기 작업에 대해서는 NLE가 신뢰성이 높으므로 이를 사용하는 것이 추천된다(그림 3 참조).

이후에도 추가적으로 정밀한 작업부하 평가가 요구되면 그때는 EMG, 심박수, 산소소모량 측정장치, 3차원 동작분석기와 같은 정밀한 전문측정장비를 동원해 측정, 평가해 볼 수 있을 것이다.

참고 문헌

ACGIH, Hand-arm vibration: TLV, 2001.

ANSI, Control of workrelated cumulative trauma disorders, Part 1: upper extremities, ANSI Z-365 Working Draft. Itasca, IL.1995.

Armstrong, T. J., Marshall, M. M., Martin, B. J., Foulke, J. A., Grieshaber, D. C. and Malone, G, Exposure to forceful exertions and vibration in a foundry, International Journal of Industrial Ergonomics, 30(3), 163-179, 2002.

Bao, S., Spielholz, P., Howard, N. and Silverstein, B., Application of the Strain Index in multiple task jobs, Applied Ergonomics, 40(1), 56-68, 2009.

Borg, G., Psychophysical bases of perceived exertion, Medicine and Science in Sports and Exercise, 14(5), 377-381, 1982.

Burnetta, D. R. and Campbell-Kyureghyan N. H., Quantification of scan-specific ergonomic risk-factors in medical sonography, International Journal of Industrial Ergonomics, 40(3), 306-314, 2010.

Cabecas J. M., The risk of distal upper limb disorder in cleaners: A modified application of the Strain Index method, International Journal of Industrial Ergonomics, 37(6), 563-571, 2007.

Chaffin, D. B., Development of computerized human static strength simulation model for job design, Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 7(4), 305-322, 1997.

Chung, M. K. and Kee, D., Evaluation of lifting tasks frequently performed during fire brick manufacturing processes using NIOSH

lifting equations, International Journal of Industrial Ergonomics, 25(4), 423-433, 2000.

Ciriello, V. M. and Snook, S. H., Survey of manual handling tasks, International Journal of Industrial Ergonomics, 23,149-156, 1992.

Corlett, E. N., The evaluation of posture and its effects. In J.R. Wilson and E.N. Corlett (Ed), Evaluation of human work, Taylor&Francis, London, 1995.

Das, B., Wimpee, J. and Das B., Ergonomics evaluation and redesign of a hospital meal cart, Applied Ergonomics, 33, 309-318, 2002.

David, G., Woods, V., Li., G. and Buckle P., The development of the Quick Exposure Check (QEC) for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders, Applied Ergonomics, 39(1), 57-69, 2008.

Feyen, R., Liu, Y., Chaffin, D., Jimmerson, G. and Joseph, B., Computer-aided ergonomics: a case study of incorporating ergonomics analyses into workplace design, Applied Ergonomics, 31(3), 291-300, 2000.

Graves, R. J., Way, K., Riley, D., Lawton, C. and Morris, L., Development of risk filter and risk assessment worksheets for HSE guidance-'Upper Limb Disorders in the Workplace' 2002, Applied Ergonomics, 35, 475-484, 2004.

Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment (REBA), Applied Ergonomics, 31, 201-205, 2000.

Jones, T. and Kumar, S., Comparison of ergonomic risk assessments in a repetitive high-risk sawmill occupation: Saw-filer, International Journal of Industrial Ergonomics, 37, 744-753, 2007.

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

Keyserling, W. M., Brouwer, M. and Silverstein, B. A., A checklist for evaluating ergonomic risk factors resulting from awkward postures of the legs, trunk and neck, International Journal of Industrial Ergonomics, 9(4), 283-301, 1992.

Kilbom, A., Measurement and assessment of dynamic work. In J.R. Wilson and E.N. Corlett (Ed), Evaluation of human work, Taylor & Francis, London, 1995.

Kivi, P. and Mattila, M., Analysis and improvement of work postures in the building industry: application of the computerised OWAS method, Applied Ergonomics, 22(1), 43-48, 1991.

Massaccesi, M., et al., Investigation of work-related disorders in truck drivers using RULA method, Applied Ergonomics, 34(4), 303-307, 2003.

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

Meshkati, N., et al., Techniques in mental workload assessment. In J.R. Wilson and E.N. Corlett (Ed), Evaluation of human work, Taylor & Francis, London, 1995.

Meyers, J. M., Miles, J. A., Faucett J., Janowitz, I., Tejeda, D. J. and Kabashima J. N., Ergonomics in agriculture: workplace priority setting in the nursery industry, American Industrial Hygiene Association Journal, 58(2), 121-126, 1997.

Monnington, S. C., Andrew, D. J., Pinder, A. D. J. and Quarrie, C., Development of an inspection tool for manual handling risk assessment, HSL, 2002.

Moore, J. S. and Garg, A., The strain index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders, America Industrial Hygiene Association Journal, 56, 443-458, 1995.

NIOSH, Work practices guide for manual lifting, NIOSH technical report, NIOSH, 1981.

Okimoto, M. L. L. R. and Teixeira, E. R., Proposed procedures for measuring the lifting task variables required by the Revised NIOSH Lifting Equation - A case study, International Journal of Industrial Ergonomics, 39(1), 15-22, 2009.

Russell, S. J., Winnemuller, L. Camp, J. E. and Johnson, P. W. Comparing the results of five lifting analysis tools, Applied Ergonomics, 38, 91-97, 2007.

Scott, G. B. and Lambe N. R., Working practices in a perchery system, using the OVAKO working posture analysing system(OWAS), Applied Ergonomics, 27(4), 281-284, 1996.

Snook, S. H. and Ciriello, V. M., The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces, Ergonomics, 34, 1197-1213, 1991.

Tracy, M. F., Biomechanical methods in posture analysis. In J.R. Wilson and E.N. Corlett (Ed), Evaluation of human work, Taylor & Francis, London, 1995.

Vedder, J., Identifying postural hazards with a video-based occurrence sampling method, International Journal of Industrial Ergonomics, 22, 373-380, 1998.

Washington State, WAC 296-62-051(Caution Zone Checklist), Dept. of Labor and Industries, WISHA.

Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Grag, A. and Fine, L. J., Revised equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, Ergonomics, 36(7), 749-776, 1993.

구본언, 박근상, 김창한, 조선업의 심출작업에 종사하는 비정형 근로자에 대한 근골격계질환 분석, 대한인간공학회지, 26(2), 113-122, 2007.

기도형, 병원 환자 운반 업무의 작업 부하 분석에 NIOSH 들기 작업 공식의 적용 가능성, 25(2), 43-50, 2006.

기도형, 박기현, 작업자세 평가기법 OWAS, RULA, REBA의 비교, 한국안전학회지, 20(2), 127-132, 2005.

기도형, 정화식, 박재희, 이인석, 김현주, 노상철, 근골격계 부담작업 유해요인조사 이행실태에 관한 연구, 한국산업안전공단, 2007.

김상호, 근골격계질환 예방을 위한 제지공정의 인간공학적 개선방안, 대한인간공학회지, 27(1), 9-19, 2008.

김정룡, 작업관련성 근골격계질환 예방을 위한 인간공학, 민영사, 2004.

노동부, 근골격계 부담작업의 범위, 노동부 고시 제 2003-24호, 2003.

박국무, 류태범, 기도형, 정민근, 인간공학적 작업부하 평가방법을 이용한 근골격계 부담작업 판정기준의 정확성 평가, 대한인간공학회지, 25(2), 119-123, 2006.

박재희, 다단적재 복합들기 작업에 대한 NIOSH 단순들기 수식의 적용 모형 개발, 한국안전학회지, 24(2), 76-82, 2009.

이관석, 이상희, 양계농가 작업자의 근골격계질환 예방을 위한 작업장 분석, 한국안전학회지, 22(4), 90-95, 2007.

장성록, Digital Human Simulation을 이용한 근골격계질환 예방에 관한 연구 – 조선업을 대상으로, 한국안전학회지, 22(3), 81-87, 2007.
최명관, 최상복, 차상은, 치과의사의 근골격계질환 자각증상과 유해요인에 관한 연구, 한국안전학회지, 21(6), 106-115, 2006.
한국산업안전보건공단, 근골격계 부담작업 유해요인 조사 지침, KOSHA code H-30, 2003.

저자 소개

박 재 희 maro@hknu.ac.kr
KAIST 산업공학과 박사
현 재: 한경대학교 안전공학과 교수
관심분야: 근골격계질환, 휴먼에러

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2010년 07월 09일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 07월 12일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 07월 21일