JESK J Ergon Soc Korea 2024; 43(1): 61-73
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2024.43.1.61
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Study on the Comparison of Major Evaluation Indicators for Musculoskeletal Disorders Based on Observational Research and Utilization for Assessment of the Korea Workers' Compensation & Welfare Service

Won-Taek Kwak[1], Jin Ho Kim[2], Jae Hee Park[3]

[1]ECO bath, Chungcheongnam-do, 31026
[2]Department of Industrial and Systems Engineering, Kongju National University, Chungcheongnam-do, 31080
[3]School of Social Safety System Engineering, Hankyong National University, Gyeonggi-Do, 17579

관찰조사를 바탕으로 근골격부담작업의 작업부하 주요 평가지표 비교 및 근로복지공단 평가지표의 활용 방안에 관한 연구

곽원택[1], 김진호[2], 박재희[3]

[1]ECO bath
[2]공주대학교 산업시스템공학과
[3]한경국립대학교 사회안전시스템공학부

Corresponding Author
Jin Ho Kim
Department of Industrial and Systems Engineering, Kongju National University, Chungcheongnam-do, 31080
Email : kjh@kongju.ac.kr

Received : November 06, 2023
Revised : November 28, 2023
Accepted : December 21, 2023

Copyright@2024 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: We assessed the evaluation reliability of the most commonly used metrics in domestic musculoskeletal assessments, namely OWAS, RULA, and REBA. Our focus was on their ability to accurately measure localized task loads. Moreover, we aimed to investigate the suitability of the metric developed by the Korea Workers' Compensation & Welfare Service in 2014 for identifying risk factors in upcoming investigations into musculoskeletal disorders.

Background: Many previous studies had indicated low correlation coefficients (<0.5) among these metrics, suggesting varying evaluation outcomes. These studies made it difficult to draw a comprehensive decision on which method was better or more suitable for a situation.

Method: We conducted observational research at an air filter manufacturing factory, focusing on 32 specific unit tasks with high workloads. The evaluations of the metrics were conducted by three ergonomics experts with over 5 years of experience in risk factor investigations of MSDs and consulting. In this paper, assessments using OWAS, RULA, and REBA were performed for the 32 tasks. Additionally, according to the KLWC (Korea Local Workload Checklist) metric, workload scores for six body parts (neck, shoulder/upper arm, elbow/forearm, hand/wrist, waist/hip, knee/ankle) were recorded. Through this process, we conducted a comparative analysis of the correlation and reliability among each evaluation metric.

Results: Inter-rater reliability (Cohen's kappa value) among OWAS, RULA, and REBA metrics for the 32 unit tasks was not high. This underscores the critical role of

technique selection in identifying musculoskeletal disorders. An analysis of diagnostic ability for localized loads, based on 192 measurements from the 6 body part KLWC scores, revealed that all three metrics were insufficient in detecting cases with localized loads. Finally, the 2014 KLWC metric demonstrated significant potential for application in risk factor investigations related to musculoskeletal burden tasks.

Conclusion: It was identified that a more accurate and effective investigation should be conducted using the KLWC metric in the investigation of risk factors for the musculoskeletal disorders in Korea.

Application: The results of this paper can be utilized in decision-making for the Korea Workers' Compensation & Welfare Service and for improving work environments. They can also provide assistance in the selection and enhancement of evaluation metrics.

Keywords: OWAS, RULA, REBA, Musculoskeletal disorders

1. Introduction

사업주는 산업안전보건법에 따라 유해요인조사를 진행하여 업무와 관련된 근골격계질환(WMSD) 발생 위험을 미리 예측하고 작업 환경을 개선하여 근골격계질환을 예방해야 한다. 유해요인조사 평가자는 작업 조건, 작업장 상황, 근골격계질환의 징후 및 증상 등을 평가해야 한다. 그러나 사업장에서의 유해요인조사 실시율은 아직 낮은 편이며, 이는 유해요인조사 절차가 복잡하여 정확한 방법을 알기 어렵거나 전문 인력이 부족하기 때문일 수 있다(KOSHA, 2008; Jung et al., 2011; Choi and Jung, 2008).

근골격계질환은 작업 조건에 따라 작업자의 신체 상태에 영향을 줄 수 있어 증상이 발생할 수도, 발생하지 않을 수도 있다. 이러한 질환과 관련된 위험을 평가하기 위해 다양한 관찰 방법이 개발되어 왔다. 산업 분야에서는 전신부하를 평가하는 데 OWAS, RULA, REBA 등이 주로 사용된다. OWAS는 핀란드의 오바코 오이(Ovako Oy)에서 개발되었으며, 허리와 팔, 다리의 자세를 구분하고, 사용하는 힘과 무게에 따라 세 가지 범주로 분류한다(Karhu et al., 1977). RULA는 자세와 근육 기능, 목, 몸통, 상지에 가해지는 외부 하중으로 근골격계 부담을 빠르게 평가하기 위해 고안되었다(McAtamney and Corlettm, 1993). REBA는 다양한 직업, 특히 의료 및 서비스 산업에서 근골격계 위험을 분석하는 데 사용되며, 신체의 다양한 관절 움직임을 그룹화하고 평가한다(Hignett and McAtamney, 2000). REBA는 전체 관절 움직임을 분류하는 반면 RULA는 몸통을 포함한 상체 움직임에 중점을 두고 있다.

기도형(Kee, 2022)에 따르면 OWAS, RULA, REBA은 관련 문헌에서 약 1,670~3,680회 인용되었으며, 이는 다른 어떤 관찰 방법보다 훨씬 더 많이 인용되었다(Kee, 2022; Hita-Gutiérrez et al., 2020; Gómez-Galán et al., 2017; Gómez-Galán et al., 2020). Joshi와 Deshpande (2019)는 근골격질환 연구에서 다룬 18가지 관찰 기법 중 REBA (69%)가 가장 자주 비교되었으며, RULA (64%), Strain Index (36%), OWAS (33%)가 그 뒤를 이었음을 밝혔다.

기도형(Kee, 2022)은 세 가지 관찰 기법(OWAS, RULA 및 REBA) 중 어떤 방법이 더 나은지 또는 작업 상황에 더 적합한지를 종합으로 파악하기 위하여 문헌 검토에 기반하여 체계적으로 비교하였다. 그 결과 RULA와 REBA 간 일치율(agreement rates)은 OWAS와 RULA 간, OWAS와 REBA 간 일치율보다 더 많이 나타나 평균적으로 높았고, OWAS와 REBA 간, OWAS와 REBA 간 일치율이 그 뒤를 이었다. 그러나 RULA, REBA, OWA의 세 가지 지표 간의 상관계수는 연구에 따라 0.415에서 0.785까지 다양하였으며, 많은 연구에서 <0.5의 낮은 상관계수를 보여주었는데, 이는 세 가지 방법이 서로 다른 평가 결과를 산출할 수 있음을 의미한다(Kee, 2022).

이런 문제점으로 근로복지공단에서 2014년 근골격계질환의 업무 관련성 심의 시, 신체부위별 부담을 참조하기 위해 평가 방법을 개발한 바가 있다(https://www.comwel.or.kr/) (Choi et al., 2023). 본 논문에서는 이 방법을 KLWC (Korea Local Workload Checklist)이라고 부르기로 한다. KLWC는 6개 부위별 작업부하를 측정하기 위하여 신체부위를 목, 어깨/위팔부위, 팔꿈치/아래팔, 손/손목, 허리/고관절, 무릎/발목부위 등으로 나누고, 자세, 힘, 반복성을 주요 유해요인으로 사용하여 각 부위별로 작업부하를 각각 평가한다. KLWC는 근골계질환자들에 대한 보상 심사 시 업무 관련성을 평가하기 위한 방법으로 개발되어 보상심의 과정에 사용되고 있다. KLWC의 주요한

목적은 작업개선이 아니라, 근골계 관련한 산재보상 심사를 위하여 작업과 질병과의 관련성을 밝히기 위해 만들어진 작업부하 평가법이다. 예를 들어, 허리와 어깨 두 부위에 대해 요양 보상을 신청한다면, 허리, 어깨 각각에 대하여 평가한 후 해당 부위의 부하여부에 대하여 결론을 내리는 방법이다. 따라서 국부질환에 대한 보상여부를 평가하는데 사용하기 위하여 개발되었다.

근골격계질환(MSD)과 관련된 위험요인을 평가하기 위해 가장 적합한 평가지표 선택이 중요하다. 그러나 우리나라에서는 여전히 OWAS, RULA, REBA와 같은 평가지표를 사용하고 있으므로, 이 세 지표들의 신뢰성 비교가 필요하며, 이를 통해 작업 환경 개선에 도움이 될 수 있을 것이라고 생각한다.

본 논문에서는 KLWC를 바탕으로 국부부하가 큰 작업에서의 OWAS, RULA, REBA 평가지표의 신뢰성을 검정하고자 하였다. 이를 바탕으로 OWAS, RULA, REBA의 평가 신뢰성과 국부적인 작업부하 진단 가능성을 파악하고자 하였다. 그리고 향후 근골격계질환 유해조사에서 KLWC 방법의 활용 가능성을 파악하고자 하였다.

2. Method

2.1 Design of empirical survey

OWAS, RULA, REBA, KLWC 평가지표 간에 차이가 있는지 알아보기 위하여 충청남도 천안에 소재한 에어 필터와 필터 백 제조공장을 관찰조사 대상으로 선정하였다(Kwak, 2023). 관찰대상 공장은 작업 공정간 제품 생산에서 반복적인 동작으로 인하여 몸의 상체(목, 어깨, 팔, 손) 부분과 몸의 하체(허리, 무릎) 부분을 모두 사용하고 있었으며 그 만큼 근골격계질환에 노출될 가능성이 높았다.

이 공장의 종업원은 대략 120명이고, 주 생산 제품으로 백 필터(Bag Filter)와 에어 필터(Air Filter)가 있다. 작업자의 연령은 20대부터 50대까지 분포되어 있으며, 본 실험에 참여하는 사람은 남자 21명, 여자 11명이다. 이 공장의 에어 필터(Air Filter) 생산 공정은 입고 ↠ 절곡 ↠ 접착 ↠ 조립 ↠ 가스켓작업 ↠ 사상작업 ↠ 포장 등으로 나누어져 있으며, 각각 공정마다 서로 다른 근로자가 배치되어 작업을 하고 있다(Kwak, 2023). 연속되는 작업 중에서 작업부하가 높은 32개의 단위작업을 관찰조사 대상으로 선정하였다. 32개 단위작업에 대한 작업부하 조사를 위해 각 단위작업 별로 최소한 3회의 반복작업 과정을 영상 촬영하였다(Figure 1). 촬영된 화면은 약 1분 간격으로 샘플링 하였고 그 중 가장 대표되는 화면을 단위작업 대표작업 화면으로 선정하였다. 각각의 단위작업 별로 작업 중 자세

Work Process scenes				
Task 1 Confirming the uniformity of aluminum height				
	1-1	1-2	1-3	1-4
Task 2 Confirming the uniformity of aluminum and paper (interleaf) height				
	2-1			

Figure 1. Examples of sampling and work scenes for two unit task among 32 unit tasks

변화가 많은 경우 최대와 최소 자세각도가 포함되도록 최대 4개의 화면이 선정되었으며(Figure 1의 Task 1), 자세의 변화가 거의 없는 경우 1개의 화면이 선정되었다(Figure 1의 Task 2).

2.2 Assessors of OWAS, RULA, REBA, and KLWC

OWAS, RULA, REBA 및 KLWC의 4개 지표에 대한 평가는 유해요인조사와 컨설팅 경험이 5년 이상인 3명의 인간공학 전문가에 의하여 이루어졌다(Table 1).

Table 1. Assessors' profile

	Sex	Age	Educational background	Work experience of WMSD assessment
A	Male	50	Master's in Ergonomics	5 years or more
B	Male	57	Bachelor of Industrial Engineering, Professional Engineer Ergonomics	10 years or more
C	Male	44	Master's in Ergonomics	5 years or more

2.3 Action Level of OWAS, RULA, and REBA and scores of KLWC

OWAS, RULA, REBA 점수는 3명의 평가자가 평가한 것을 바탕으로 값을 구하였다. 3명의 값이 차이가 있는 경우 그 부위에 대하여 평균값을 사용하였다. 그 값을 기준으로 Table 2와 같이 4개의 등급으로 나누었다(Karhu et al., 1977; McAtamney and Corlettm, 1993; Hignett and McAtamney, 2000).

Table 2. Action levels and improvements of OWAS, RULA, and REBA

Action level	Improvements
I	No issues
II	Improvements needed in the future
III	Improvements needed as soon as possible
IV	Improvements needed immediately

Figure 2. KLWC calculation program

앞에서 언급한 것 같이 KLWC는 신체를 목, 어깨/위팔, 팔꿈치/아래팔, 손/손목, 허리/고관절, 무릎/발목 등 총 6가지로 나누고, 자세, 힘, 반복성을 주요 위험요인으로 사용하여 각 부위별로 작업부하를 1~7점 측도로 각각 측정한다. 자세, 힘, 반복성 값은 3명의 평가자(2.2절)가 합의하여 구하였으며, 3명의 값이 차이가 있는 경우 평균값을 사용하였다.

32개 단위작업 별로 각각의 작업에 대하여 6개 부위별로 자세, 힘, 반복성 값을 부여하면 KLWC 기준에 의하여 각 부위별 점수가 계산되도록 엑셀 측정 프로그램을 자체 제작하였다(Figure 2).

3. Results

3.1 Action levels of OWAS, RULA, REBA and KLWC scores on 6 body parts

Table 3은 32개 단위작업들에 대한 OWAS, RULA, REBA의 등급과 6개 부위별 KLWC 점수 값을 보여준다.

Table 3. The comparison of OWAS, RULA, and REBA action level with KLWC scores on 6 body parts

	Task definition	OWAS	RULA	RERA	KLWC scores on 6 body parts					
					Neck; m1	Shoulder/ Upper Arm; m2	Elbow/ Forearm; m3	Hand/ Wrist; m4	Hip/Lower Back; m5	Knee/ Ankle; m6
1	Confirming the uniformity of aluminum height	1	2	1	4	4	3	5	4	2
2	Confirming the uniformity of aluminum and paper (interleaf) height	1	2	1	4	4	4	4	5	2
3	Inserting aluminum into the paper interleaf	1	2	1	4	4	4	4	4	3
4	Confirming the uniformity of product spacing	1	2	1	5	4	4	5	4	3
5	Confirming the appearance and dimensions of finished products	1	3	2	5	4	4	4	4	2
6	Sorting the finished products by type	1	3	2	4	6	5	5	4	3
7	Filling operation with polyurethane for semi-finished products	4	3	2	6	7	7	7	5	5
8	Moving to the next process after semi-finished products	2	3	2	4	5	5	7	4	3
9	Assembly of semi-finished aluminum	1	3	2	4	4	4	4	4	2
10	Modification and improvement work for finished products	2	3	2	4	4	4	4	4	2

Table 3. The comparison of OWAS, RULA, and REBA action level with KLWC scores on 6 body parts (Continued)

	Task definition	OWAS	RULA	RERA	KLWC scores on 6 body parts					
					Neck; m1	Shoulder/ Upper Arm; m2	Elbow/ Forearm; m3	Hand/ Wrist; m4	Hip/Lower Back; m5	Knee/ Ankle; m6
11	Sewing of semi-finished filter bags	2	2	2	4	4	4	6	4	3
12	Assembly of the upper part of the filter bag	2	3	3	4	4	4	6	4	3
13	Assembly of the lower part of the filter bag	2	3	2	4	4	5	6	4	3
14	Assembly of internal rings for the filter bag	2	3	2	6	4	4	5	6	4
15	Assembly of HEPA filters	2	3	2	6	6	6	7	6	4
16	Drawing according to the order drawing	1	2	2	4	4	3	4	4	2
17	Cutting the lower part of the filter bag	2	3	2	5	4	4	4	4	2
18	Inspection of finished products for defects	1	2	2	4	4	4	4	4	3
19	Investigation of the cause of defects in semi-finished products	1	3	2	4	4	4	4	4	3
20	Processing of paper (interleaf) for semi-finished products	2	2	2	4	4	4	4	4	3
21	Sewing of the upper part of the filter bag	2	2	2	4	4	4	5	4	3
22	Sewing of nonwoven fabric for filter bags	2	2	2	4	4	4	4	4	2
23	Bonding rings according to specifications	1	2	1	4	4	4	4	4	2
24	Packaging of finished filter bags	2	3	2	4	4	4	4	4	2
25	Cutting nonwoven fabric according to specifications	1	2	1	4	4	4	5	4	3
26	Removal of polyurethane	3	3	2	5	6	5	5	6	4
27	Cutting nonwoven fabric rolls according to specifications	2	4	2	6	6	6	6	6	4
28	Sewing upper part of nonwoven fabric according to specifications	2	2	2	4	4	4	6	4	4

Table 3. The comparison of OWAS, RULA, and REBA action level with KLWC scores on 6 body parts (Continued)

	Task definition	OWAS	RULA	RERA	KLWC scores on 6 body parts					
					Neck; m1	Shoulder/ Upper Arm; m2	Elbow/ Forearm; m3	Hand/ Wrist; m4	Hip/Lower Back; m5	Knee/ Ankle; m6
29	Labeling nonwoven fabric rolls according to specifications	4	4	4	5	5	4	4	6	4
30	Polyurethane operation for HEPA filters	3	3	2	6	5	5	4	6	4
31	Welding of reinforcing bars for job scaffolding	1	3	2	4	5	5	4	4	2
32	Cutting steel plates according to order drawings	3	3	2	5	4	4	6	6	3

Table 4, Table 5, Table 6은 OWAS, RULA, REBA의 등급 값을 비교한 분할표이다. 본 논문에서는 두 지표간에 독립성을 검정한 결과와 일치성의 측도인 Cohen's kappa를 구하여 Table 4, Table 5, Table 6에 제시하였다.

OWAS와 RULA는 유의수준 10%에서 '두 지표는 독립적이다'라는 귀무가설이 기각되어(p-값=0.052) 두 지표간에 관련성은 있다고 할 수 있다. 그러나 Cohen's kappa 값이 0.065로써 두 지표의 일치성은 낮음을 알 수 있다(Table 4). 또, RULA와 REBA는 유의수준 10%에서 '두 지표는 독립적이다'라는 귀무가설이 기각되어진다(p-값<0.001). 그러나 Cohen's kappa 값이 -0.062로써 두 지표의 일치성은 매우 낮음을 알 수 있다(Table 5). 마지막으로, OWAS와 REBA는 유의수준 10%에서 '두 지표는 독립적이다'라는 귀무가설이 기각되어진다(p-값=0.001). Cohen's kappa 값이 0.365로써 두 지표는 어느 정도 일치함을 알 수 있다(Table 6).

위의 이상의 결과로써 세 지표간에 낮은 상관계수가 있다라는 기도형(Kee, 2022)의 연구 결과와 일치함을 알 수 있다. 이는 세 가지 방법이 서로 다른 평가 결과를 산출했음을 의미하고 있으므로 근골격계부하 평가를 진단함에 있어 지표 선택이 매우 중요한 요소임을 알 수 있다.

Table 4. Contingency table for OWAS and RULA

		RULA				Total
		1	2	3	4	
OWAS	1	0	8	5	0	13
	2	0	5	8	1	14
	3	0	0	3	0	3
	4	0	0	1	1	2
Total		0	13	17	2	32

(χ^2=12.47, p-value=0.052, Cohen's kappa=0.065)

Table 5. Contingency table for RULA and REBA

		REBA				Total
		1	2	3	4	
RULA	1	0	0	0	0	0
	2	6	7	0	0	13
	3	0	16	1	0	17
	4	0	1	0	1	2
Total		6	24	1	1	32

(χ^2=26.42, *p*-value<0.001, Cohen's kappa=-0.062)

Table 6. Contingency table for OWAS and REBA

		REBA				Total
		1	2	3	4	
OWAS	1	6	7	0	0	13
	2	0	13	1	0	14
	3	0	3	0	0	3
	4	0	1	0	1	2
Total		6	24	1	1	32

(χ^2=26.84, *p*-value=0.001, Cohen's kappa=0.365)

3.2 Comparisons of action levels of OWAS, RULA, and REBA and KLWC scores on 6 body parts

국부적으로 발생하는 근골격계 작업부하에 OWAS, RULA, REBA의 평가 가능성을 분석하고자 하였다. 본 논문에서는 32개 단위작업에서 각각의 작업에 대한 6개 신체부위별 KLWC 점수를 구한 총 192개의 7점 측도값을 이용하여 분석하였다.

Table 7은 OWAS 등급 점수와 6개 신체부위 작업부하 점수의 관련성을 분할표로 구한 것이다. 32개 단위작업 중에서 OWAS 등급 1은 13개 작업이었다. 13개 작업에 대하여 6개 신체부위별 부하 점수 값은 1점에서부터 7점으로 구할 수 있으며 Table 7에서 총 78개로 나타났다.

Table 7. Contingency table for OWAS and 6 body part workload scores of KLWC

OWAS action level \ KLWC score for 6 body parts	1	2	3	4	5	6	7	Total
1	0	7	8	52	10	1	0	78
2	0	4	6	51	6	15	2	84
3	0	0	1	5	6	6	0	18
4	0	0	0	3	4	2	3	12
Total	0	11	15	111	26	24	5	192

OWAS 등급 2는 14개 작업이고 총 84개 신체부하 값이 있다. '작업8: 반제품 다음 공정으로 이동(Moving to the next process after semi-finished products)' 중 손/손목부위는 7점의 신체부하가 가장 큰 값으로 진단되었으나 그 작업은 등급 2로 분류되었다. 또 '작업15: 헤파필터 조립(Assembly of HEPA filters)' 중 손/손목부위는 7점의 신체부하 값이었으나 등급 2로 분류되었다. 뿐만 아니라 OWAS 등급 2로 분류된 14개 작업 중 15개 신체부위에서 6점의 높은 신체부하 값으로 가지고 이었다. 비록, 등급 2가 '작업부하가 높지는 않지만 추가 조사가 필요한 것'으로 해석된다고 하더라도 국부적으로 신체부하가 큰 작업이 있는 경우 OWAS 등급으로는 이를 제대로 진단하지 못할 가능성이 높다는 것을 암시한다.

Table 8을 보면 RULA 등급 1로 분류된 작업을 하나도 없었다. 등급 2는 13개의 작업과 총 78개의 KLWC 부위 점수가 있다. 등급 3은 17개의 작업과 총 102개의 KLWC 부위 점수가 있다. 그 중 신체부하 점수 6점은 16개, 신체부하 점수 7점 이었다. 등급 3과 등급 4를 비교하면, 신체부하 점수 6점 또는 7점이 등급 3에 더 많이 분포되어 있음을 알 수 있다. 이 결과로 국부적으로 신체부하가 큰 작업을 RULA에서는 제대로 분류하고 평가하지 못할 수 있다는 것을 암시한다.

Table 8. Contingency table for RULA and 6 body part workload scores of KLWC

RULA	KLWC score for 6 body parts							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	5	9	56	6	2	0	78
3	0	6	6	51	18	16	5	102
4	0	0	0	4	2	6	0	12
Total	0	11	15	111	26	24	5	192

Table 9를 보면 REBA 등급 2이면서 신체부하 점수가 7인 것은 5개 부위인데 '작업7: 반제품 우레탄 심기(Filling operation with polyurethane for semi-finished products)'에서 어깨/위팔 부위, 팔꿈치/아래팔 부위, 손/손목 부위; '작업8: 반제품 다음 공정으로 이동(Moving to the next process after semi-finished products)'에서 손/손목 부위; '작업15: 헤파필터 조립(Assembly of HEPA filters)'에서 손/손목 부위가 이에 해당된다. 작업7은 6개 신체부위 중 6점이 1개, 7점이 3개로 신체부하가 매우 높은 작업으로, OWAS는 등급 4, RULA는 등급 3으로 분류되었으나 REBA에서는 등급 2로 분류되었다. 이것을 보아 국부적으로 신체부하가 큰 작업을 REBA에서는 진단하지 못할 수도 있다.

Table 9. Contingency table for REBA and 6 body part workload scores of KLWC

REBA	KLWC score for 6 body parts							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	3	4	24	5	0	0	36
2	0	8	10	80	19	22	5	144
3	0	0	1	4	0	1	0	6
4	0	0	0	3	2	1	0	6
Total	0	11	15	111	26	24	5	192

이상의 결과로 OWAS, RULA, REBA 모두 국부적으로 발생하는 근골격계 작업부하를 제대로 진단하지 못할 가능성이 있음을 알 수 있었다.

3.3 Utilization the KLWC technique in examining risk factors for musculoskeletal disorders

서론에서 언급하였듯이 KLWC는 국부 근골계질환에 대한 보상여부를 평가하는데 사용하기 위하여 개발되었다. 따라서 KLWC의 6개 부위 점수 값을 종합하여 등급을 부여하지는 않고 있다. 근골격계질환(MSD)과 관련된 위험요인을 평가하고 작업개선에 활용하기 위해서는 OWAS, RULA, REBA와 같이 등급을 부여할 필요가 있다. KLWC의 근골격계질병 재해조사시트는 신체부위를 목 부위와 어깨/위팔부위, 팔꿈치/아래팔부위, 손/손목부위, 허리/고관절 부위, 무릎/발목부위 등 6개 부위로 나누고, 각 부위에 나타나는 작업부하를 각각 평가한다. 만약 몸 전체에 가하여지는 작업부하를 종합적으로 판단하기 위하여 산술평균 하면, 몇몇 부위에서 발생하는 국부부위의 작업부하가 산술평균에 의하여 평활(smoothing) 되어 국부부하를 제대로 진단하지 못하게 된다. 즉, KLWC는 OWAS, RULA, REBA와 다르게 국부부하를 평가하기 위하여 개발되었기 때문에 부위별 평가 값을 산술평균 하게 되면 유해요인이 적은 부위로 인해 전반적으로 KLWC의 평가 결과가 과소평가 되는 경향이 발생할 수도 있을 것이다.

이런 문제점으로, 본 논문의 등급 부여 기준은 산술평균과 유해요인이 높은 부위를 반영하여 Table 10과 같이 4등급으로 제안하였다. 이 기준은 임의로 구분한 것으로 국가적인 유해요인조사에 활용하기 위해서는 전문가들의 검증과 합의에 의한 등급 기준이 새로 마련되어야 할 것이다. 이 등급을 사용하여 산업안전보건법에 따라 실시되는 유해요인조사, 특히 국부부하가 큰 작업이 있는 경우 근로복지공단에서 개발한 근골격계질병 재해조사시트의 활용 가능성을 파악하고자 하였다.

Table 10. Action level using integrated score KLWC

Action level	Evaluation criteria*	Improvements
1	1≤ average< 2	No issues
2	2≤ average< 4	Improvements needed in the future
3	4≤ average< 6; 1 part out of 6 body parts score 7; or Above 3 parts out of 6 body parts score 6	Improvements needed as soon as possible
4	6≤ average≤ 7; Above 2 parts out of 6 body parts score 7; 1 part out of 6 body parts score 7 and above 3 parts score 6; or Above 5 parts out of 6 body parts score 6	Improvements needed immediately

*average = ∑mi/6, where mi is the ith part score in Table 3

Table 11은 Table 10에 의한 KLWC 등급과 6개 신체부위 작업부하 점수의 관련성을 분할표로 구한 것이다. 6개 신체부위 작업부하 점수 분포가 KLWC 등급에 맞게 분포되어 있음을 알 수 있다. 산업안전보건법에 따라 실시되는 유해요인조사에서 근로복지공단에서 개발한 근골격계질병 재해조사시트의 활용 가능성이 높음을 의미한다. 그러므로 전문가들과 이해당사자들간이 합의한 등급 기준 마련이 시급하다.

Table 11. Contingency table for KLWC action level and 6 body part workload scores of KLWC

KLWC action level	KLWC score for 6 body parts							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 11. Contingency table for KLWC action level and 6 body part workload scores of KLWC (Continued)

KLWC action level	KLWC score for 6 body parts							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
2	0	10	6	64	4	0	0	84
3	0	1	9	45	20	14	1	90
4	0	0	0	2	2	10	4	18
Total	0	11	15	111	26	24	5	192

4. Conclusion

본 논문에서는 작업자세 평가 기법 중 가장 널리 사용되는 OWAS, RULA, REBA가 근골격계질환 관련 작업부하 평가에 적절한지를 관찰조사를 통하여 살펴보았다. 국부부하가 큰 작업이 있는 경우 근로복지공단에서 개발한 KLWC를 바탕으로 OWAS, RULA, REBA 평가지표의 신뢰성을 검정하였다. 즉, OWAS, RULA, REBA의 진단 신뢰성과 국부적인 작업부하 진단 가능성을 파악하였다.

32개 단위작업에서 세 지표간의 일치성 정도를 Cohen's kappa 값으로 살펴 보았다. OWAS와 RULA는 Cohen's kappa 값이 0.065로써 두 지표의 일치성은 매우 낮게 나타났다. RULA와 REBA는 Cohen's kappa 값이 -0.062로써 두 지표의 일치성은 매우 낮게 나타났다. OWAS와 REBA는 Cohen's kappa 값이 0.365로써 두 지표는 어느 정도 일치함을 알 수 있다. 그러나 세 지표간의 일치성 정도는 높지 않아 근골격질환을 진단함에 있어 지표 선택이 매우 중요 요소임을 알 수 있었다.

국부적으로 발생하는 근골격계 작업부하에 OWAS, RULA, REBA 중에서 어떤 방법이 가장 적합한지를 분석하였다. 본 논문에서는 32개 단위작업에서 각각의 작업에 대한 6개 신체부위별 KLWC 점수를 구한 총 192개의 7점 측도값을 이용하여 분석하였다. 그 결과 세 지표 모두 국부질환이 있는 경우 이들을 진단하기에는 부족하다는 것을 파악할 수 있었다.

근로복지공단에서는 2014년 국부 근골계질환에 대한 보상여부를 평가하기 위하여 근골격계질병 재해조사시트 개발하였다(https://www.comwel.or.kr/) (Choi et al., 2023). 신체부위를 목 부위, 어깨/위팔부위, 팔꿈치/아래팔부위, 손/손목부위, 허리/고관절 부위, 무릎/발목부위 등 6개 부위로 나누고, 각 부위에 나타나는 작업부하를 각각 평가한다. 그러나 6개 부위 점수 값을 종합하여 등급(action level)을 부여하지는 않는다. 근골격계질환(MSD)과 관련된 위험요인을 평가하고 작업개선에 활용하기 위해서는 OWAS, RULA, REBA와 같이 등급을 부여할 필요가 있다. 본 논문에서는 6개 부위 부하값의 산술평균과 유해요인이 높은 부위를 반영한 등급(Table 10) 기준을 사용하여 근로복지공단의 근골격계질병 재해조사시트 방법의 활용 가능성을 파악하였다. 그 결과 6개 신체부위 작업부하 점수 분포가 KLWC 등급에 맞게 분포되어 있음을 알 수 있다. 산업안전보건법에 따라 앞으로 진행되는 유해요인조사에서 신뢰성 있는 평가 방법으로 근로복지공단에서 개발한 근골격계질병 재해조사시트의 활용 가능성이 높음을 알 수 있었다. 그러므로 전문가들과 이해당사자들간이 합의한 등급기준 마련이 시급하다.

본 논문에서는 필터 제조공장에서 필터 생산과 조립 공정 과정의 32개 작업을 대상으로 관찰조사를 하였기 때문에 보다 다양한 다른 작업을 대상으로 추가 관찰조사가 필요하다. 또한 전문가 3인이 4가지 척도를 평가한 한계점을 보완하여 보다 신뢰성이 높은 관찰조사가 요구된다.

향후 신체부위별 작업부하를 보다 효과적으로 진단할 수 있는 신뢰성이 높은 근골격계질환 평가 방법을 개발하여 우리나라에서 실시하고 있는 유해요인조사에 활용하고, 이를 통하여 근골계질환을 사전에 예방하고 조기발견과 조기치료 및 조속한 직장복귀 프로그램을 정착시킬 필요가 있다.

References

Choi, S.B., Lee, S.H. and Lee, W.H., Status and prediction of disapproval of the Korean workers' compensation insurance for diseases and injuries, *Journal of Occupational Health*, 2023. https://doi.org/10.1002/1348-9585.12392.

Choi, I.S. and Jung, B.Y., A Study on Job Training for Investigators of Musculoskeletal Disorder-Related Hazard Factors, *Korean Society of Human Factors and Ergonomics*, 27(4), 65-71, 2008.

Gómez-Galán, M., Callejón-Ferre, Á.J., Pérez-Alonso, J., Díaz-Pérez, M. and Carrillo-Castrillo, J.A., Musculoskeletal risks: RULA bibliometric review, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 4354, 2020. doi: 10.3390/ijerph1712435.

Gómez-Galán, M., Pérez-Alonso, J., Callejón-Ferre, Á.J. and López-Martínez, J., Musculoskeletal disorders: OWAS review, *Industrial Health*, 55, 314-337, 2017. doi: 10.2486/indhealth.2016-019.

Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, 31, 201-205, 2000. doi: 10.1016/S0003-6870(99)00039-3.

Hita-Gutiérrez, M., Gómez-Galán, M., Díaz-Pérez, M. and Callejón-Ferre, Á.J., An overview of REBA method applications in the world. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 2635, 2020. doi: 10.3390/ijerph1708263.

Joshi, M. and Deshpande, V., A systematic review of comparative studies on ergonomic assessment techniques, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 74, 1-14, 2019. doi: 10.1016/j.ergon.2019.10286.

Jung, H.S., Kee, D.H., Lee, I.S. and Park, J.H., An in-depth Interview Study to Examine the Performance Status of the Legal Risk Assessment of Musculoskeletal Disorders, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 30(1), 275-283, 2011.

Karhu, O., Kansi, P. and Kuorinka, I., Correcting working postures in industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, 8, 199-201, 1977. doi: 10.1016/0003-6870(77)90164-8.

Kee, D.H., Systematic comparison of OWAS, RULA, and REBA Based on a literature review, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 595, 2022. http://doi.org/10.3390/ijerph19010595

Kwak, W.T., *A Study on the development of ergonomic workload evaluation index for diagnosing musculoskeletal workload*, Doctoral dissertation, Kongju National University, 2023.

Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), *Musculoskeletal Disorder Evaluation Method*, 24-48, 2008.

McAtamneym, L. and Corlettm, E.N., RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24, 91-99, 1993. doi: 10.1016/0003-6870(93)90080-S.

Author listings

Won-Taek Kwak: ecobath@naver.com

Highest degree: PhD, Department of Industrial Systems & Engineering, Kongju University
Position title: CEO, ECO bath, Co., Ltd.
Areas of interest: Eco-friendly Product Design, Musculoskeletal Disorders

Jin Ho Kim: kjh@kongju.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Statistics, Seoul National University
Position title: Professor, Department of Industrial Systems & Engineering, Kongju University
Areas of interest: Musculoskeletal Disorders, Anthropometry

Jae Hee Park: maro@hknu.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, KAIST
Position title: Professor, School of Social Safety System Engineering, Hankyong National University
Areas of interest: Musculoskeletal Disorders, Usability Evaluation