

어깨 및 팔 동작 부하 측정을 위한 관찰적 기법 비교

기도형

계명대학교 산업공학과

Comparison of Six Observational Methods for Assessing Arm- and Hand-intensive Tasks

Dohyung Kee

Department of Industrial Engineering, Keimyung University

Abstract

This study aims to compare six observational methods for assessing arm- and hand-intensive tasks, based on literature review. The comparison was conducted in viewpoints of body regions, force/external load, motion repetition, other factors including static posture, coupling, duration/break, pace, temperature, precision task, and final risk or exposure level. The number of risk factors assessed was more, and assessment procedure was more complex than the observational methods for assessing whole-body postural loads such as Ovako Working Posture Analysis System(OWAS), Rapid Upper Limb Assessment(RULA), and Rapid Entire Body Assessment(REBA). Due to these, the intra- and inter-reliabilities were not high. A past study showed that while Hand Arm Risk Assessment Method(HARM) identified the smallest proportion of the work tasks as high risk, Strain Index(SI) and Quick Exposure Check(QEC) hand/wrist were the most rigorous with classifying most work tasks as high risk. This study showed that depending on the observational technique compared, the evaluation factors, risk or exposure level, and evaluation results were different, making it necessary to select a technique appropriate for the characteristics of the work being assessed.

Keywords : Observational method, WMSDs, Risk factor, Risk level

1. 서론

고용노동부 산업재해 현황분석 자료에 따르면 우리나라 작업관련성 근골격계질환 (work-related musculoskeletal disorders: WMSDs)은 2021년 11,868건이 발생하여, 1996년에 처음으로 WMSDs를 고용노동부 공식 통계 항목으로 발표한 이후 최초로 10,000건을 넘어섰다 [1]. 이러한 증가 추세는 2018년 이후 지속되고 있으며 추정의 원칙 등 정부의 WMSDs 인정 기준 완화와 함께 계속될 것으로 추정된다. 사고성 요동을 제외하면 WMSDs 발생 신체 부위 별로는 2019-2021년 3년 간 어깨 부위가 38%로 가장 높았고, 허리 (25%), 다리/발 (12%), 팔꿈치/아래팔 (10%), 손목/손 (7%), 목 (6%), 위팔 (2%) 순으로 나타났

다 [2]. 팔, 손 부위의 WMSDs가 전체 WMSDs의 약 57%로 절반 이상을 차지하고 있다.

WMSDs 예방을 위해서는 WMSDs 유발 위험 요인을 평가하는 것이 중요하며, 이를 위하여 Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) [3], Rapid Upper Limb Assessment (RULA) [4], Rapid Entire Body Assessment (REBA) [5] 등의 관찰적 기법이 개발되어 산업 현장에서 가장 많이 사용되고 있다 [6]. 1995년 이후 팔 및 손 동작 부하를 평가하기 위하여 Hand Arm Risk Assessment Method (HARM) [7,8], Assessment of Repetitive Tasks of the upper limbs (ART) [9], Occupational Repetitive Action (OCRA) [10], American Conference of Governmental Industrial Hygienists

[†]Corresponding Author : Dohyung Kee, Department of Industrial Engineering, Keimyung University, 1095 Dalgubeol-Daero, Dalseo-Gu, Daegu, E-mail: dhkee@kmu.ac.kr

Received May 06, 2024; Revision June 12, 2024; Accepted June 16, 2024

Threshold Limit Values for Hand Activity Level (ACGIH(TLV) HAL) [11], Strain Index (SI) [12], Quick Exposure Check (QEC) [13], Swedish Work Environment Auocrthority (SWEA) [14] 등이 개발되었으나, 산업 현장 적용이나 위 방법을 이용한 연구가 많지 않은 실정이다 [6]. 특히, 우리나라에서는 OWAS, RULA, REBA 및 QEC 비교[15], OCRA와 RULA 비교 [16], QEC를 이용한 자동차 조립 작업 부하 측정[17] 등 소수 연구에서, 팔 및 손 동작 부하 평가 도구인 QEC와 OCRA를 다른 관찰적 기법과 비교하거나 부하 측정에 사용한 정도이다.

산업화의 진전과 함께 어깨, 팔, 손을 사용한 단순 반복 작업 노출로 이와 관련한 WMSDs가 많아질 것으로 추정되어 [2], 이들 신체 부위를 사용하는 작업에 대한 부하 측정이 중요하다. 따라서, 이 연구에서는 팔 및 손 동작 부하 측정을 위하여 개발된 관찰적 기법인 HARM, ART, OCRA, ACGIH(TLV) HAL, SI와 QEC를 비교하고자 한다.

2. 연구방법

비교 대상인 6개 팔 및 손 부하 측정을 위한 관찰적 기법을 발표한 논문 및 인터넷 사이트를 기반으로, 신체 부위, 힘/외부 부하, 동작 반복, 진동 등 평가 요소, 위험 수준 (risk level) 등 각 기법의 특성을 파악한다. 이들 기법을 비교한 논문[18,19]을 참조하여 비교 결과를 정리하여 제시한다.

3. 결과

3.1 평가 신체 부위

관찰적 기법별 평가되는 신체 부위는 <Table 1>에 정리되어 있다. HARM은 목 및 팔/손 부위를, ART 및 QEC는 허리, 목 및 팔/손 부위를, OCRA는 손/팔 부위를 평가한다. ART 및 QEC는 허리 자세를 포함하고 있고, HARM, ART와 QEC는 목 자세 평가 기능을 갖추고 있다. 팔꿈치 자세는 HARM과 OCRA만 다루고 있다. ACGIH(TLV) HAL 및 SI는 손목/손 부위만을 평가한다.

<Table 1> Body Regions assessed

Method	Back	Neck	Shoulder/arm	Elbow	Wrist/hand
HARM	X	O	O	O	O
ART	O	O	O	X	O
OCRA	X	X	O	O	O
ACGIH (TLV) HAL	X	X	X	X	O
SI	X	X	X	X	O
QEC	O	O	O	X	O

O: included; X: excluded.

3.2 힘/외부 부하 및 동작 반복

힘 또는 외부 부하 효과는 기법별로 3-5 범주로 나누어 정성적 혹은 정량적으로 반영하고 있다 (Table 2). HARM은 100g-1kg, 1-6kg, 최고 힘(peak force)으로 힘 발휘를 구분하고 힘 발휘 지속 시간 및 회수에 따라 점수를 달리 부여한다. QEC는 5kg, 10kg, 20kg을 기준으로 외부 부하를 4개 수준으로 구분한다.

ACGIH(TLV) HAL은 MVC (maximum voluntary contraction) 기준으로 10단계로 구분하거나 Borg CR10을 이용하여 힘 수준을 정성적으로 평가하고 있다. Borg CR10은 간단한 언어 기준(verbal anchor)과 0-10점 점수 척도를 참조하여 부하를 주관적으로 평가하는 방법이다 [18]. 또한, ART(가벼운, 보통, 강한, 매우 강한 힘) 및 SI(가벼움, 약간 힘듦, 힘듦, 매우 힘듦, 거의 최대)도 힘을 정량적 구분없이 정성적으로 구분한다 (Table 2).

동작 반복 효과는 ACGIH(TLV) HAL 및 SI만 기법 개발 배경을 반영하여 손목/손, OCRA는 어깨/팔 반복 효과만을 반영하고 있다. 다른 4개 기법은 모두 손목/손, 어깨/팔 부위 반복 효과를 평가하고 있다. 다른 신체 부위 즉, 허리, 목, 팔꿈치는 기법에 따라 반영 여부가 다른 것으로 조사되었다.

3.3 기타 위험 요인

<Table 2> Force/external load and repetition

Method	Force/external load	Motion repetition
HARM	5 categories (low, average, somewhat high, high, peak)	neck, shoulder/arm, elbow, wrist/hand
ART	4 categories (light, moderate, strong, very strong)	shoulder/arm, wrist/hand

Method	Force/external load	Motion repetition
OCRA	3 categories (moderate, intense, near maximum)	shoulder/arm
ACGIH (TLV) HAL	0-10(%MVC, Borg CR10)	wrist/hand
SI	5 categories (light, somewhat hard, hard, very hard, near maximal)	wrist/hand
QEC	4 categories (light, moderate, heavy, very heavy)	back, shoulder/arm, wrist/hand

정적 자세, 손잡이, 진동, 지속시간/휴식과 작업속도, 온도, 접촉스트레스, 정밀 작업 등을 포함하는 기타 평가 요소 및 최종 작업 부하는 <Table 3>에 정리되어 있다. ACGIH(TLV) HAL과 SI는 정적 자세, 손잡이, 진동이 평가 요소에 포함되어 있지 않으며 (ACGIH(TLV) HAL에서 진동은 주평가 요소가 아닌 참조용 고려 사항임), 평가 결과인 위험 수준도 단순하게 구분하고 있다. 즉, ACGIH(TLV) HAL은 TLV(threshold limit value) 초과 여부를 기준으로 하고, 손 및 아래팔에 지속적 비중립 자세, 접촉스트레스, 저온, 진동 등의 요인 노출이 있을 경우는 action limit 이하로 개선할 것을 권장하고 있다. SI는 SI 점수를 제시하고 5 혹은 7점 이내인가 또는 초과인가에 따라 안전 혹은 위험으로 분류하고 있다 (점수 기준은 연구에 따라 다름). 위 2개 기법을 제외한 4개 기법은 3-6개 위험(risk) 혹은 노출(exposure) 수준을 제시하고 있다. QEC는 신체 부위별(허리, 어깨/팔, 손목/손, 목) 및 노출 요소별(운전, 진동, 작업 속도, 스트레스)로 3-4

개 노출 수준으로 평가한다. 이 중 운전, 진동 및 작업 속도는 3개 노출 수준으로 평가 결과를 구분한다.

3.4 평가 결과

Kjellberg et al.(2015)은 2-6분 정도의 10개 작업 장면 (슈퍼마켓 작업 2, 고기 자르기, 고기 포장, 엔진 조립, 헤어드레싱, 청소 업무 2, 분류 작업 2)에 대한 경험있는 인간공학자 3명의 평가 결과를 비교하였다[19]. 평가에는 HARM, ART, OCRA, QEC, SI, SWEA 등 6개 팔 및 손 부하 평가용 관찰적 도구를 사용하였다. 평가 결과는 대부분 위험 수준이 보통(moderate) 혹은 높은(high) 것으로 평가하였다. 6개 기법 중 SI 및 QEC hand/wrist가 위험 수준을 가장 높게 평가하였으며, HARM이 높은 위험으로 평가한 작업 비율이 가장 낮았다. 두 기법별로 짝을 이루어 비교할 때 평가 결과가 모두 일치하는 경우는 없었다. 팔 및 손 부하를 전반적으로 평가할 때는 QEC와 SWEA 간 일치율이, 위팔을 평가할 때는 ART와 OCRA 간 일치율이 가장 높았다.

Bao et al.(2006)은 733명의 반복적 손 동작 자료를 대상으로 ACGIH(TLV) HAL과 SI를 비교하였다[20]. 연구는 SI가 손 동작 반복 및 힘에 대한 위험 수준을 높게 평가하였다고 보고하였다.

3.5 신뢰성 및 타당성

Nyman et al.(2023)은 HARM, ART, OCRA, QEC, SI, SWEA 등 6개 팔 및 손 부하 평가용 관찰적 도구에

<Table 3> Other factors assessed and risk level

Method	Assessment factors					Risk levels
	Static posture	Coupling/ grip	Vibration	Duration/ break	Others	
HARM	O	O	O	O	cold or wet material, disruption, precision task	3 risk levels
ART	X	O	O	O	work pace, tool/work piece /workstation, glove, work environment, fine precise movements, psychosocial factors	3 exposure levels
OCRA	O	O	O	O	work pace, glove, striking, cold, skin compression, precision task	6 risk levels
ACGIH (TLV) HAL	X	X	X	X	sustained non-neutral posture of wrist and forearm, contact stress, low temperature, vibration	TLV, action limit
SI	X	X	X	O	work pace	SI score of 5 or 7
QEC	O	X	O	X	driving, vibration, work pace, visual demand, work Stress	3-4 exposure levels

O: included; X: excluded.

대한 평가 결과의 신뢰성 및 타당성을 조사하였다. 평가자 내 신뢰성은 12명의 경험있는 인간공학자의 10개 작업 장면 에 대한 2번의 평가 결과에 기반하여 선형 가중 κ 값으로 분석하였다[21]. κ 값은 HARM 0.47, ART 0.56, OCRA 0.50, QEC는 평가 신체 부위에 따라 0.42(어깨) - 0.84(목), SI 0.16, SWEA 0.13(어깨/팔) - 0.47(전반적 반복) 수준을 보였다. κ 값이 좋은(good) 수준(0.61-0.80)에 속하는 경우는 QEC wrist(0.64) 및 neck(0.84) 뿐이었고, 나머지 기법은 모두 보통(moderate) 수준(0.41-0.60)으로 평가자 내 신뢰성이 높다고 하기 어렵다.

위의 연구에서 평가자 간 신뢰성은 두 번의 평가 중 첫 번째 평가 결과에 기초하여 산출되었다. 선형 가중 κ 값은 HARM 0.26, ART 0.42(왼팔), 0.41(오른팔), OCRA 0.45, QEC 0.30(허리) - 0.82(목), SI 0.15, SWEA 0.16(허리) - 0.22(목)으로 조사되었다. κ 값이 좋은 수준에 속한 경우는 QEC neck(0.82) 뿐으로 평가자 간 신뢰성도 대체로 낮은 것으로 나타났다.

같은 연구에서 타당성 검증은 위험 평가 및 대학 수준의 관련 분야 강의 경력이 20년 이상 있는 전문가 3명의 3회에 걸친 평가를 통하여 일치시킨 평가 결과(consensus agreement)와 12명 인간공학자 평가 결과의 비교를 통하여 이루어졌다. 평가 대상 작업은 신뢰성 평가 시와 같았다. 평가 결과에 대한 선형 가중 κ 값은 HARM 0.42, ART 0.54(왼팔), 0.48(오른팔), OCRA 0.44, QEC 0.31(허리) - 0.88(목), SI 0.35, SWEA 0.31(전반적 반복), 0.38(전반적 자세 및 동작)을 보여, QEC neck은 좋은 수준이었고 나머지 기법은 모두 보통 이하 수준으로 나타났다.

4. 토의 및 결론

이 연구는 팔 및 손 자세 부하를 평가할 수 있는 6개 관찰적 기법을 문헌을 중심으로 비교하였다. 6개 관찰적 기법에 따른 신체 부위, 동작 반복, 힘/외부 부하 등 평가 요소와 평가 결과를 종합한 위험 또는 노출 수준을 정리하였다. 평가 결과를 비교한 기존 문헌에서는 6개 기법 중 SI 및 QEC hand/wrist가 부하를 높게 평가하고, HARM이 낮게 평가하였다. 또한, 경험있는 인간공학자가 평가할 때 신뢰성 및 타당성은 높지 않은 것으로 기존 연구는 보고하고 있다. 따라서, 비교한 관찰적 기법에 따라 평가 요소, 위험 또는 노출 수준, 평가 결과 등이 달라 분석 대상 작업 특성에 적절한 기법 선택이 필요하다고 할 수 있다.

OWAS, RULA, REBA 등 전신 자세 평가를 위한 관찰적 기법에 비하여 팔 및 손 부하를 측정하는 관찰적 기법

은 팔 및 손을 사용하는 작업 특성을 반영하여, 다음과 같은 차이점을 보였다. 첫째, HARM, ART 및 QEC는 동작 반복을 신체 부위별로 구분하여 평가한다. 둘째, 전신 자세 관찰적 기법에 거의 반영되어 있지 않은 진동, 작업 속도, 온도, 작업 환경, 접촉 스트레스 등 WMSDs 유발 요인을 반영하고 있는 기법이 다수였다. 셋째, OWAS, RULA, REBA 등은 위험 수준 (action category 또는 action level)에 따라 개선의 시급성을 제시하고 있으나, 팔 및 손 평가용 관찰적 기법에서는 개선의 시급성에 대한 언급 없이 위험 또는 노출 수준을 단순히 구분하거나, 개선 요구 여부만을 제시하고 있다.

팔 및 손 평가용 관찰적 기법은 팔/손 관련 WMSDs 위험 요인을 평가하는 장점이 있으나, 다음 문제점이 있는 것으로 판단된다. 첫째, 전신 자세 부하 평가를 위한 관찰적 기법에 비하여 평가 요소가 많으며 적용 절차도 복잡하고, 기초적 인간공학적 지식을 요하는 부분이 있어 초보자가 사용하기는 쉽지 않을 것으로 보여 올바른 사용을 위하여 사용 방법 및 인간공학에 관한 교육 및 훈련이 요구된다. 6개 관찰적 기법 사용이 어려운 점은 평가자 내 및 평가자 간 신뢰성과 타당성이 낮은 점에서 추정할 수 있다. 둘째, QEC는 외부 부하를 5kg, 10kg, 20kg을 기준으로 크게 나누고 있어, 팔 및 손만을 사용하는 작업에서 이 정도 외부 부하나 힘을 사용하는 경우가 많지 않을 것으로 보여 적용 시 민감도가 낮을 것으로 보인다. ART, OCRA, ACGIH(TLV) HAL 및 SI는 힘/외부 부하를 정성적으로 구분하고 있어 초보자가 사용하기 쉽지 않을 것으로 추정된다.

이 연구는 관련 문헌을 기반으로 팔 및 손 평가용 관찰적 기법을 비교하였으나, 불편도, 힘 및 모멘트와 같은 역학적 기준, WMSDs와의 연관성 등을 기준으로 비교하는 연구가 있으면 좀 더 객관적 비교가 될 것으로 판단된다.

5. References

- [1] Ministry of Employment and Labor(2022), Industrial Accident Status Analysis, Ministry of Employment and Labor, Seoul.
- [2] D. Kee(2023), "Characteristics of work-related musculoskeletal disorders in Korea." International Journal of Environmental Research and Public Health, 20:1024.
- [3] O. Karhu, P. Kansu, I. Kuorinka(1977), "Correcting working postures in industry: A practical method

- for analysis.” *Applied Ergonomics*, 8(4):199-201.
- [4] L. McAtamney, E. N. Corlett(1993), “RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders.” *Applied Ergonomics*, 24(2): 91-99.
- [5] S. Hignett, L. McAtamney(2000), “Rapid Entire body assessment (REBA).” *Applied Ergonomics*, 31:201-205.
- [6] B. D. Lowe, P. G. Dempsey, E. M. Jones(2019), “Ergonomics assessment methods by ergonomics professionals.” *Applied Ergonomics*, 81:102882.
- [7] M. Douwes, H. de Kraker(2012), “HARM overview and its application: some practical examples.” *Work*, 41:4004-4009.
- [8] M. Douwes, H. de Kraker(2014), “Development of a non-expert risk assessment method for hand-arm related tasks (HARM).” *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44:316-327.
- [9] Health and Safety Executive. Assessment of repetitive tasks of the upper limb (the ART tool). Available online: <https://www.hse.gov.uk/pubns/indg438.htm> (accessed on 20 December 2023).
- [10] E. Occhipinti(1998), “OCRA: a concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of the upper limbs.” *Ergonomics*, 41(9):1290-1311.
- [11] ACGIH Worldwide(2001), *Hand Activity Level TLV*, ACGIH, Cincinnati, OH.
- [12] J. S. Moore(1995), “Garg, A. The strain index: a proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders.” *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56:443-458.
- [13] G. David, V. Woods, G. Li, P. Buckle(2008), “The development of the quick exposure check (QEC) for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders.” *Applied Ergonomics*, 39:57-69.
- [14] Nordiska Ministerrådet.(1994), *Vägar Till Fårre Arbetskador—Utveckling av Nordisk Ergonomitillsyn, Modeller för Ergonomisk Riskvärdering TemaNord 1994:514*, Nordiska Ministerrådet, Copenhagen, Denmark.
- [15] K. S. Lee, J. W. Yeom, H. M. Hur, J. M. Sohn, D. M. Oak, S. G. Park(2009), “Comparisons of different evaluation tools for musculoskeletal disorders.” *Fall Conference of the Ergonomics Society of Korea*, 11:205-209.
- [16] K. S. Lee, J. H. Kim, M. S. Jung. S. J. Jeon, Y. J. Chun(2007), “Comparison of assessment by OCRA Checklist and RULA at an auto Manufacturing Plant.” *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 26(4):153-160.
- [17] M. C. Jung, K. S. Lee(2019), “Comparison of assessment by OCRA Checklist and RULA at an auto Manufacturing Plant.” *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 38(6):445-455.
- [18] G. Borg(1998), *Borg’s perceived exertion and pain scales*, Human Kinematics, IL, USA.
- [19] K. Kjellberg, P. Lindberg, T. Nyman, P. Palm, I. M. Rhen, K. Eliasson, R. Carlsson, N. Balliu, M. Forsman(2015), “Comparisons of six observational methods for risk assessment of repetitive work—Results from a consensus assessment.” *Proceedings of the 19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association*, Melbourne, VIC, Australia, 9-14 August.
- [20] B. Bao, N. Howard, P. Spielholz, B. Silverstein (2006), “Quantifying repetitive hand activity for epidemiological research on musculoskeletal disorders - Part II: comparison of different methods of measuring force level and repetitiveness.” *Ergonomics*, 49(4):381-392.
- [21] T. Nyman, I. M. Rhen, P. J. Johansson, K. Eliasson, K. Kjellberg, P. Lindberg, X. Fan, M. Forsman (2023), “Reliability and validity of six selected observational methods for risk assessment of hand intensive and repetitive work.” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20:5505.

저자 소개



기 도 형

서울대학교 산업공학과에서 학, 석사학위를 취득하고, POSTECH 대학원에서 박사학위를 취득하였다. 인간공학기술사이고 현재 계명대학교 공과대학 산업공학과 교수로 재직 중이며, 관심 분야는 시스템안전, 자세부하측정, 근골격계질환 예방 등이다.