

자동차 조립공정에서의 작업자세 부하 평가 체계 구축

정재원*, 정민근*, 김상호**, 이인석*, 이상민*

*포항공대 산업공학과, **금오공대 산업공학과

Abstract

In this study, the postural stresses in automobile assembly tasks were evaluated through an experiment. We had 19 subjects who simulated 42 different working postures occurring in the automobile assembly tasks for 1 min and rated their whole body discomforts subjectively. We used a free modulus magnitude estimation technique, commonly used as a psychophysical rating technique, and fully trained the subjects for the technique. The postures were selected through the analysis of the characteristics of the automobile assembly tasks and the expected difficulties. The subjective discomfort rating data were normalized by min-max standardization method. The consistency of the rating data was guaranteed by the analysis of spear man rank-order.

The postures were ranked on their ratings and the relationships between the whole body discomfort ratings, and joint discomfort ratings were analysed. It is expected that a system for evaluating postural stresses, which was specific to automobile assembly tasks, can be developed based on the relationship and can also be expended to a general purpose system with a minor modification.

1. 서론

근골격계 질환(musculoskeletal disorders)은 대표적인 직무관련 질환으로 부적절한 작업자세, 과도한 작업부하량 할당 및 중량물의 무리한 취급 등과 같은 구조적 원인에 의해 만성적으로 누적되어 온 상해의 결과로 나타나는 경우가 많다. 특히 근골격계 통증과 부적절한 작업자세와의 연관 관계는 많은 연구자에 의해 보고되고 있다([3], [4], [5], [11]).

그러나, 부적절한 작업자세(poor working posture) 혹은 적절한 작업자세(good working posture)를 명확히 제시하고 있는 연구결과는 아직 부족한 상태이며, 기존의 작업자세 평가기법들은 작업자세의 작업부하를 정략적으로 평가하기 보다는 정성적인 평가를 하고 있고, 주로 다른 연구자의 연구 결과를 바탕으로 한 평가 체계를 제시하고 있다.

자동차 조립공정은 대표적인 조립작업으로 노동집약적이며 인력작업이 많은 산업이며, 특히

힘든 작업자세가 많이 유발된다. 이 공정에서 발생하는 작업자세로 인한 작업부하를 평가하기 위한 평가 체계 구축을 위해 본 연구에서는 자동차 조립공정에서 작업자세로 인한 작업부하를 평가하기 위한 실험연구를 수행하였다. 김상호등(1988)이 제시한 바와 같은 작업자세 분류체계를 이용하여, 자동차 조립공정에서 발생 빈도가 높은 작업자세를 대상으로 작업부하를 평가하고, 작업자세 특성에 따른 작업부하를 분석하였다.

2. 연구 방법

실험 방법

본 연구에서의 실험은 과거에 근골격계 질환을 경험한 적이 없는 19명의 남자 대학생을 대상으로 했으며, 이들은 평균 연령 22.6(±1.1)세, 평균 신장 173.0(±3.5)cm, 평균 체중 64.4(±4.4)kg이다. 이들은 그림 1과 같이 모의 자동차 조립작업 자세를 1분 동안 유지한 후 전신의 주관적 불편도를 피실험자가 스스로 기준을 정해 평가하는 free

modulus magnitude estimation 방식으로 평가하였다. 이들에 대한 실험 절차는 다음과 같다.

- 피실험자의 magnitude estimation의 능력을 평가하기 위해 pretest(line prediction /numeric estimation)을 실시했다.
- 자세에 의한 주관적 불편도 평가를 연습시키기 위해 어깨의 4자세 허리의 3자세를 각각 1분 동안 취한 후의 주관적 불편도를 평가했다.
- 연습을 마친 피실험자는 10분 정도 쉬 다음 선정된 42개의 자세를 한 자세 1분의 유지시간과 5분의 휴식시간을 가지면서 주관적 불편도를 평가하였다.
- 42개의 자세에 대한 실험이 끝난 피실험자는 실험의 분석을 위해 자세적 불편도의 최소값으로 의자에 편히 1분 동안 앉은 후의 주관적 불편도를 평가하였다.
- 42개의 자세 중 난이도의 분포가 고르게 분포되게 선정된 10개의 자세를 실험자의 주관적 불편도의 일관성을 확인하기 위해 재실험 하였다.

단 위에 실험에서 피 실험자는 이들에 걸쳐 본실험을 하였고 실험이 끝나고 3~4일 후 재실험을 실시하였고 모든 실험 자세는 무작위로 피실험자에게 제시 되었다.



[그림 1] 피실험자의 작업 자세 예

실험 작업 자세

김상호(1998)등이 제시한 자동차 조립공정의 작업특성별 가능 작업장 자세로부터 가능한 작업 자세 조합 109개(보정요인 제외)를 설정하였다. 선정된 109개 작업자세 중 실제 작업에서의 적합성 분석, 허리/하지/목에서의 보정요인 추가, 예상 난이도 분석 등을 수행해 42개의 작업자세를 선정하였다. 작업자세는 표 1과 같이 각 관절별로 예상

난이도가 분포된다. 예상 난이도는 pilot test를 통해 산정 하였다.

3. 결과

주관적 불편도 평가의 일관성 검사

본 연구에서 얻어진 모든 주관적 불편도는 의자에 1분 동안 앉아서 느끼는 불편도를 최소값으로 하고, 42개 작업자세에 대한 불편도 중 가장 큰 값을 최대값으로 하여 Min-Max standardization을 실시하여 분석하였다. 우선 피실험자의 자세에 대한 주관적 불편도의 신뢰도를 확인하기 위해 10개의 자세에 대하여 본실험에서의 값과 재실험에서의 값을 Spearman rank-order correlation coefficient test를 해본 결과 0.46~0.98까지 분포하고 대부분 0.8이상의 높은 수치가 나와 피실험자들의 주관적 불편도를 일관성 있게 평가한 것을 알 수 있다.

관절별 분석

각 관절의 자세에 따른 ANOVA 분석을 해본 결과 각 관절에 따른 주관적 불편도가 통계적으로 유의한 차이가 ($\alpha=0.05$) 있는 것으로 나오고 어깨 부위에서는 $SSE>MSE>AE>N$, 허리 부위에서는 $1E>2FF'>2FF>1FF>N'>N>1FF'$, 하지 부위에서는 $PS>Sq'>Hsq>Sq>N$, 손목 부위에서는 $SFE>MFE>N$, 목 부위에서는 $MFE'>MFE>N'>N$ 순으로 불편도가 작게 나오고 또한 통계적으로도 유의한 차이가 있다. 자세 코드는 김상호(1998)등의 자세 분류체계의 약자와 같고 '가 붙은 것은 그 코드와 보정인자가 조합을 이룬 코드를 의미한다. 결과로부터 하지에서의 PS자세의 불편도가 상대적으로 높게 나온 것과 허리에서의 1FF'자세의 불편도가 N보다 낮게 나온 것은 42개 실험자세 중 그 자세와 결합하는 다른 관절의 자세의 불편도가 PS에서는 상대적으로 더 높은 것이 1FF'에서는 더 낮은 것이 결합해서 주관적 불편도 평가에 더 영향을 미쳤기 때문이다.

기하 평균 분석

작업 자세에 따른 주관적 불편도의 Min-Max Standardization을 한 값의 기하 평균값을 작은 값에서 큰 값 순으로 그림 2과 같이 표시해 보면 실험에 쓰인 42개 자세의 난이도가 고르

게 분포했음을 알 수 있다. 또한 그림 3와 같이 허리 부위에서의 자세와 불편도의 관계를 보면 extension 자세는 불편도가 높은 쪽에서만 나타남으로 주관적 불편도 평가에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있고 반면에 1FF나 2FF' 같은 자세는 쉬운 곳부터 어려운 곳까지 분포하는 것으로부터 주관적 불편도 평가에 비교적 영향을 덜 미치는 것을 알 수 있다.

3. 결론 및 추후 연구

선정된 작업자세의 난이도가 쉬운 것부터 어려운 것까지 고르게 분포되어 있고 그 값의 일관성도 좋으므로 이 실험 데이터를 기반으로 자동차 조립공정에서 발생하는 작업자세로 인한 작업부하를 정량적으로 평가하는 연구를 수행 할 수 있다. 또한 결과로부터 작업자세로 인한 작업부하에 미치는 영향은 각 관절의 자세별로 상대적인 차이를 보이고 있으므로, 작업자세 평가체계는 이를 충분히 반영해야 함을 알 수 있다.

4. 참고 문헌

[1] 기도형, 신승헌, 김형수, "Magnitude estimation 을 이용한 앉은 자세에서의 인체관절의 불편도 측정", 97춘계 대한 산업 공학회, 1997

[2] 김상호, 정민근, 기도형, 이인석, "자동차 조립 공정에서의 작업자세 특성", 98춘계 인간 공학회, 1998

[3] Aaras, A., Westgaard, R. H. and Strandén E., Postural angles as an indicator of postural load and muscular injury in occupational work situations, Ergonomics, 31(6), 915-933, 1988

[4] Armstrong, T. J., Buckle, P., Fine, L. J., Harberg, M., Jonsson, B., Kilbom, A., Kuorinka, I. A. A. Silverstein, B. A., Sjøgaard, G., and Viikari-Juntura, E. R. A. A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders, Scan. J. Work Environ Health, 19, 73-74, 1993.

[5] Corlett, E.N., Wilson, J., and Manenica, I. The ergonomics of working postures.

Models, methods and cases, London: Taylor & Francis, 1986.

[6] Genaidy, A. M. and Karwowski, W., The effects of neutral posture deviation on perceived joint discomfort ratings in sitting and standing postures, Ergonomics, 36(7), 785-792, 1993.

[7] Genaidy, A. M., Al-shedi, A. A and Karwowski, W., Postural stress analysis in industry, Applied Ergonomics, 25(2), 77-87, 1994.

[8] Keyserling, W. M., Postural analysis of the trunk and shoulders in simulated real time, Ergonomics, 29(4), 569-583, 1986.

[9] 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.

[10] Sidney Siegel, N. J. Castellan, JR. Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences, Second Edition, McGRAW-HILL, 1988

[11] Van Wely, P. Design and disease. Applied Ergonomics, 1, 262-269, 1970.

5. 부록 (작업자세 분류표)

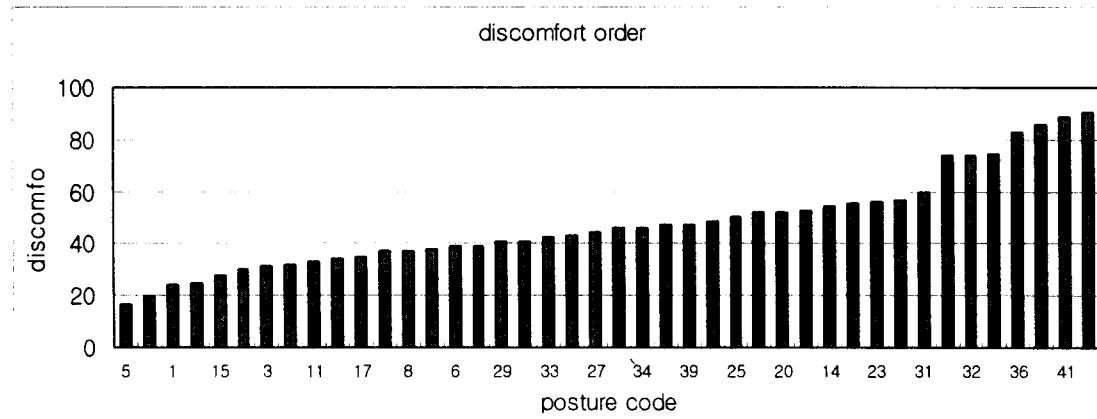
| 신체부위 | 작업자세 분류 |
|------------------|---|
| 어깨/상완 (좌우 구분) | - N: Neutral 0°~45° - AE: Arm Elevation 45°~100° - MSE: Moderate Shoulder Elevation 100°~145° - SSE: Severe Shoulder Elevation 145° |
| 전완/손목 (좌우 구분) | - N: Neutral 0°~20° - MFE: Moderate Wrist Flexion or Extension 20°~60° - SFE: Severe WF/E 60° ~ |
| 허리 | - N: Neutral 앞/뒤/좌/우/비틀 0°~30° - 1FF: 1 Forward Flexion 30°~60° - 2FF: 2 Forward Flexion 60°~90° - 3FF: 3 Forward Flexion 90° ~ - 1E: 1 Extension 10°~25° - 2E: 2 Extension 25° ~ - LB/T: Lateral Bending or Twisting 30° ~ |
| 목 | - N: Neutral 0°~20° - MFF: Moderate Forward Flexion 20°~50° - SFF: Severe Forward Flexion 50° ~ - 1 LB/T 30°~45° - 2 LB/T 45° ~ |
| 하지 | - N: Neutral 135°~180° knee angle - Sq: Squat 90°~135° - IISq: Half Squat 90° 이하 - K: Kneeling - PS: Proper Sitting - IS: Improper Sitting - U: Unbalanced |

[표 1] 총 42개 작업의 각 관절별 자세의 빈도수 및 난이도 분포

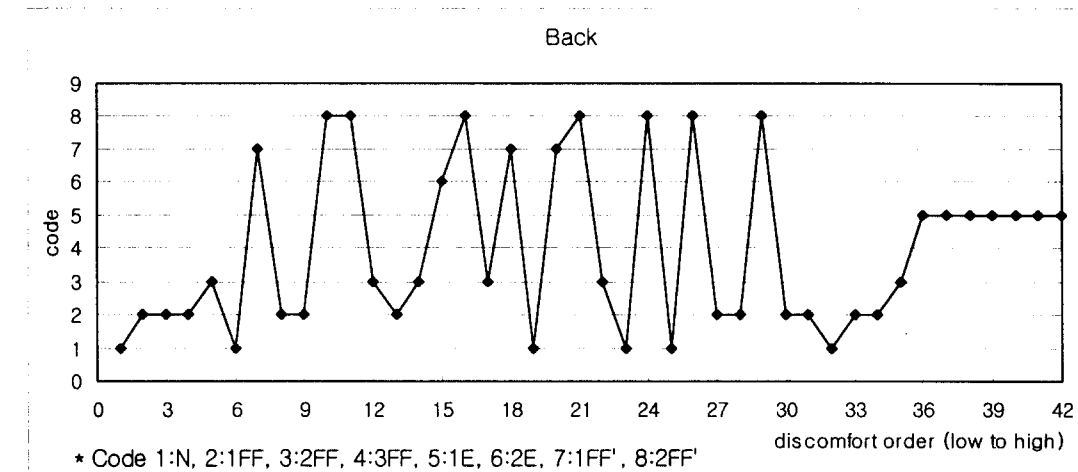
| 난이도 \ Joint | 어깨 | | | | 허리 | | | | | 하지 | | | | 손목 | | | 목 | | 합 |
|-------------|----|----|---|---|--------|------|------|---|---|----|------|---|---|----|----|---|-------|-------|----|
| | 1* | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | |
| 1 | 3 | 1 | | | 1 | 3 | | | | 4 | | | | 3 | 1 | | 3 | 1 | 4 |
| 2 | 1 | 5 | | | 2(1**) | 4(1) | | | | 6 | | | | 3 | 3 | | 4(1) | 2(1) | 6 |
| 3 | 5 | 5 | 2 | | 2 | 6 | 4(1) | | | 5 | 4(3) | 3 | | 6 | 5 | 1 | 5(2) | 7(3) | 12 |
| 4 | 4 | 8 | | 2 | 2 | 2(2) | 9(6) | | 1 | 10 | 2(1) | 2 | | 10 | 3 | 1 | 8(4) | 6(1) | 14 |
| 5 | | | 4 | 2 | | | | | 6 | 4 | | | 2 | 1 | 3 | 2 | | 6(2) | 6 |
| | 13 | 19 | 6 | 4 | 7(1) | 5(3) | 3(7) | | 7 | 29 | 6(4) | 5 | 2 | 23 | 15 | 4 | 20(7) | 22(7) | 42 |

* 각 관절의 코드는 김상호(1998)등의 자세 분류체계의 코드

** 괄호 안의 숫자는 그 code의 보정 요인을 나타냄



[그림 2] 42개 작업자세의 주관적 불편도 그래프(낮은 것에서 높은 것 순서)



[그림 3] 허리 부위에서의 자세와 불편도 상관 그래프