작업자세에 의한 자동차 조립작업의 작업부하평가

Workload Evaluation of Automobile Assembly Tasks Using a Posture Classification Schema

정재원*, 정민근*, 이인석*, 김상호**, 이상민*, 이유정*

*포항공과대학교 산업공학과

**금오공과대학교 산업공학과

ABSTRACT

The association of poor body postures with pains or symptoms of musculoskeletal discorders has been reported by many researchers. An ergonomic evaluation of postural stresses as well as biomechanical stresses is also important especially when a job involves highly repetitive or prolonged poor body postures.

The human body is divided into five parts: shoulder/upper arm, lower arm/wrist, back, neck, lower extremities. A work-sampling based macropostural classification system was developed to characterize various postures in this study. Application of the posture classification schema developed in this study to 7 automobile assembly tasks showed that the schema can be used as a tool to identify the operation and tasks involving highly stressful body postures. This posture classification schema can also be applied as a basis for quantitive evaluating the workload of manual task.

1. 서론

현대의 산업사회에서는 작업장의 생산 시설이 기계화 및 자동화되어가는 추세이지만, 아직도 많은 작업들이 인력에 의하여 수동적으로 수행되고 있다. 인력 작업은 취급되는 작업물의 무게, 작업방법, 작업자세에 따라 과부하가 발생할 수 있으며, 이로 인해 작업자에게 요통(back pain), 누적외상병(cumulative trauma disorders, CTDs) 등의 근골격계 질환이 발생하는 경우가 많다. 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([1], [2], [3], [8]).

작업자세로 인한 작업부하를 평가하기 위해서는 부적절한 작업자세를 구분하는 것이 중요하다. 그러나, 부적절한 작업자세(poor working posture) 혹은 적절한 작업자세(good working posture)를 명확히 제시하고 있는 연구결과는 아직 부족한 상태이며, 특히 작업자세로 인한 작업부하를 정량적으로 평가하는 연구는 더욱 미진한 상태이다.

본 연구에서는 작업자세 분류체계를 이용한 작업자세 평가기법의 모형을 제시하고자 하며, 작업자세 분류체계를 이용해 자동차 조립공정의 작업자세 특성을 파악하고자 한다. 자동차 조립공정은 대표적인 조립작업으로 노동집약적이며 인력작업이 많은 산업이다. 이 공정의 작업자세 특성을 파악함으로써 작업자세 평가기법의 필요성을 제시하고자 한다.

2. 작업자세 분류에 관한 기존연구

작업자세 평가기법은 측정 방법에 따라 크게 관찰적 평가 기법(observational techniques)과 기구를 이용한 측정 평가 기법(instrumentation -based techniques)으로 나눌 수 있다([5]). 또한 관찰적 평가 기법은 작업자세 분류체계에 따라 macropostural classification, micropostural

classification, postural-work activity classification 으로 나눌 수 있고 기록법에 따라서는 연속적 기록과 단속적 기록이 있다.

작업자세를 동작범위 각도에 따라 분류해 작업자세를 평가하는데 이용한 연구사례는 다수 존재한다. 본 연구에서는 이러한 연구들을 신체 부위별로 정리하였다([4], [6], [7]). 신체부위는 각 관절을 기준으로 목(neck), 어깨(shoulder), 팔꿈치/전완(elbow/forearm), 손목(wrist), 허리(trunk), 무릎(knee) 등으로 구성된다. 각 연구자들은 자신의 연구목적에 따라 6개 관절 모두 또는 일부에 대해 작업자세를 분류하였다.

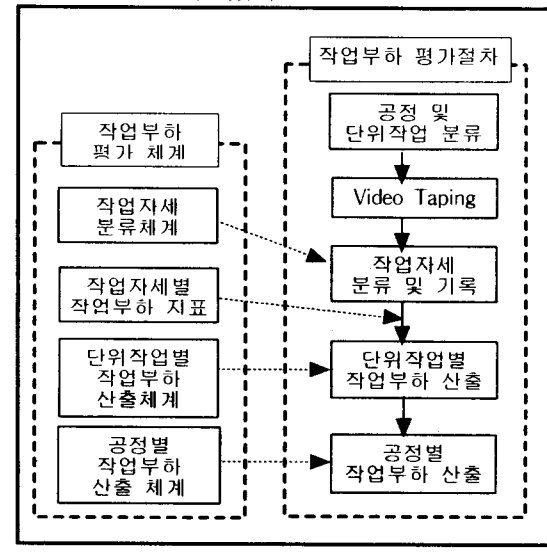
3. 작업자세 평가 모형

본 연구에서는 작업자세 평가 기법의 바탕으로 관찰적 평가기법, macropostural classification, 단속적 기록법을 설정하였다. 작업자세 평가 체계는 [그림 1]과 같이 구성된다. 작업자세 평가 절차는 현장 작업장의 관찰을 통해서 공정, 단위작업들을 분류한후, 평가 대상 작업을 비디오로 촬영한다. 촬영한 작업에 대해서 공정 및 단위 작업별로 작업자세를 분류한다. 이때 작업자세 분류 체계에 따른 자세코드를 기록하게 되며, 일정 간격으로 작업자세를 기록하는 work sampling 기법을 이용한다. 작업자세 기록이 끝나면, 공정 및 단위작업별로 작업자세의 분포가 산출되며, 작업자세로 인한 작업부하를 산출하게 된다. 이때, 작업부하를 산출하기 위해서는 작업자세별 작업부하를 정량화한 지표 체계가 필요하다. 또한, 단위 작업 및 공정별 작업부하를 산출하기 위해서는 각각에 해당하는 산출체계가 필요한데, 이는 작업자세의 지속시간, 빈도수 등을 고려하여 작업자세로 인한 작업부하를 산출하기 위함이다.

4. 작업자세 분류체계

본 연구에서는 기존 연구를 바탕으로 작업자세 분류체계를 수립하였다. 작업자세 분류체계는 작업자세별 작업부하를 기준으로 해야한다. 이는 이 분류체계를 통해 작업부하를 평가하기 위함이다. 또한 실제로 작업장에 적용을 위해 관찰의 정확성과 측정시간, 관찰자 훈련 용이성 등을 고려하여 분류체계를 구축해야 하며, 특히, 국내의 실제 작업현장을 분석대상으로 함으로써 한국형 산업특성이 충분히 반영될 수 있도록 해야 한다.

분류체계는 신체부위에 따라 어깨/상완, 전완/손목, 허리, 목, 하지를 기준으로 구성되었다. 각 신체 부위별 분류체계는 [표 1]과 같다. 관찰자는 이 분류체계에 의해 만든 작업자세 기록용지에 작업자세를 기록할 수 있다.



[그림 1] 작업자세 평가 모형

[표 1] 작업자세 분류체계

신체부위	작업자세 분류
어깨/상완 (좌우 구분)	- Neutral(N) 0~45° - Arm Elevation(AE) 45~90° - Moderate Shoulder Elevation(MSE) 90~135° - Severe Shoulder Elevation(SSE) 135~180°
전완/손목 (좌우 구분)	- Neutral(N) 상/하/좌/우 0~20° - Wrist Flexion or Extension(WF/E)
허리	- Neutral(N) 앞/뒤/좌/우/비틈 0~20° - Moderate Forward Flexion(MFF) 20~45° - Severe Forward Flexion(SFF) 45° ~ - Extension(E) 뒤 20° 이상 - Lateral Bending or Twisting(LB/T) 좌/우/비틈 20° ~ - MFF&LB/T, SFF&LB/T, E&LB/T
목	- Neutral(N) 앞/뒤/좌/우/비틈 0~20° - Flexion(F) 앞 20° ~ - Extension(E) 뒤 20° ~ - LB/T 좌/우/비틈 20° ~ - F & LB/T, E & LB/T
하지	- Neutral(N) 135~180° knee angle - Half Squat(HSq) 90~135° - Squat(Sq) 90° 이하 - Kneeling(K) - Proper Sitting(PS) - Imprper Sitting(IS) - Unbalanced(U) - Sq&U, HSq&U

5. 자동차 조립공정의 작업자세

본 연구에서는 작업자세 분류체계를 이용하여 자동차조립공정의 작업특성을 분석하였다. 대상 장업은 승용차의 엑슬 장착 작업, 머플러 장착 작업, 크라시 패드 장착 작업, 헤드라이닝 장착 작업, 프론트 범퍼 장착 작업, 프론트 도어 장착 작업, 프론트 시트 장착 작업 등 총 7개 작업이며, 5초 간격으로 작업자세를 sampling하였다.

[표 2]는 7개 작업의 대표적인 작업자세를 나타내고 있다. 표에서 작업별로 작업자세 특성이 다르게 나타나고 있다. 엑슬 장착작업과 머플러 장착 작업에서는 어깨/상완에서 AE, MSE 등의 자세가 나타나고 있으며, 크라시 패드, 헤드라이닝에서는 어깨/상완에서 AE, MSE, 허리에서 MFF, T/LB, E, 목에서 E, T/LB 등의 자세가 많았다. 프런트 도어와 프런트 시트, 프런트 글래스에서는 허리에서 MFF, SFF 등의 자세가 많이 나타났다.

분석된 총 7개의 작업 중 크라시 패드 장착 작업에 대한 자세 코딩 결과를 예시하면 다음과 같다. [그림 2]는 이 작업의 대표적인 자세의 예로서 어깨/상완에서는 Moderate shoulder elevation(MSE), 전완/손목에서는 Neutral(N), 허리에서는 Severe forward flexion(SFF), 목에서는 Flexion(F), 하지에서는 Squat(Sq) 자세를 취함을 관찰 할 수 있다.

[표 2] 각 작업별 작업자세

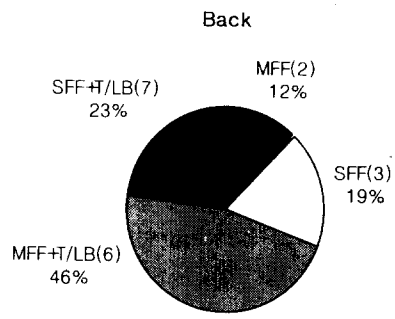
작업명	각 부위의 대표 작업자세
엑슬 장착	어깨/상완:AE(37%),전완/손목:N(57%) 허리:N(94%),목:N(73%),하지:N(100%)
머플러 장착	어깨/상완:MSE(39.%),전완/손목:N(67%) 허리:N(83.05%),목:E(37.29%),하지:N(91%)
크라시패드 장착	어깨/상완:AE(50%)전완/손목:N(61%) 허리:MFF·T/LB(46%)목:T/LB(42%) 하지:IPS(61.54%)
헤드라이닝 장착	어깨/상완:양팔MSE(71%)전완/손목:양손WF/E(42%),허리:E(28%),목:E(50%) 하지:PS(64%)
프론트 범퍼 장착	어깨/상완:N(84%),전완/손목:N(60%) 허리:MFF(40%),목:N(48%),하지:N(76%)
프론트 도어 장착	어깨/상완:N(60%),전완/손목:N(80%) 허리:SFF(30%),목:T/LB(50%)하지:N(80%)
프론트 시트 장착	어깨/상완:N(78%),전완/손목:N(60.87%) 허리:SFF(78.26%),목:N(73.91%),하지:N(60%)

[그림 3]에서 [그림 5]는 각 부위에 대한 작업자세의 분포를 도식화 한 것이다. [그림 3]에서 허리에서는 주로 Moderate forward flexion과 Severe forward flexion이 주된 자세로 나타났고, 그때 Twisting or Lateral bending도 같이 많이 일어나는 것으로 관측되었다. 목에서는 Neutral과 Twisting or Lateral bending이 주된 자세인 것으로 관측되었다([그림 4]). 하지에서는 Improper sitting이 주된 자세인 것으로 관측되었다([그림 5]). 이러한 결과에서 허리, 목, 하지의 작업자세로 인한 작업부하가 클 것을 예측할 수 있다.

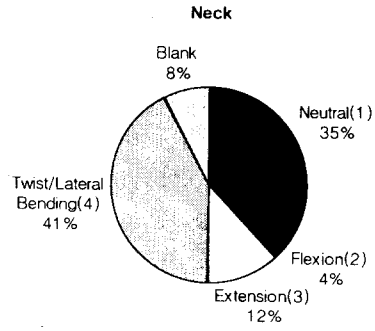
6. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 작업자세 평가 모형과 작업자세 분류체계를 수립하였다. 작업자세 분류체계는 기존 연구를 바탕으로 수립되었으며, 작업부하, 실용성, 정확성, 훈련용이성 등을 고려하였다. 또한 분류체계를 이용하여 자동차 조립공정의 작업자세 특성을 분석하였다. 자동차 조립 작업은 공정에 따라 작업자세 특성이 다양하였으며, 각 신체부위별로 높은 작업자세를 가지는 작업자세가 많이 나타나는 것으로 분석되었다. 이러한 결과로부터 자동차 조립공정에 대한 작업자세 평가 수행은 작업부하를 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

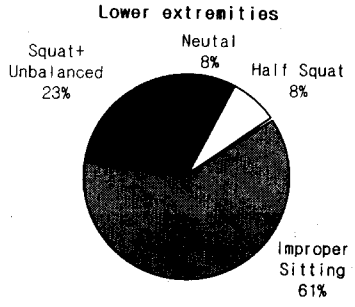
[그림 2] 크라시패드 장착작업의 예



[그림 3] 크라시패드 장착작업에서의 허리



[그림 4] 크라시패드 장착작업에서의 목



[그림 5] 크라시패드 장착작업에서의 하지

7. 참고 문헌

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

[2] Armstrong, T. J., Buckle, P., Fine, L. J., Harberg, M., Jonsson, B., Kilbom, A., Kuorinka, I. A. A. Silverstein, B. A., Sjogaard, 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.

[3] Corlett, E.N., Wilson, J.,and Manenica, I. The ergonomics of working postures. Models, methods and cases, London: Taylor & Francis. 1986.

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

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

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

[7] 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.

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