

# 차량조립공정에서의 작업부담도 평가 Workload Evaluation of Automobile Assembly Tasks

이 인 석\*, 정 민 근\*, 김 상 호\*\*

\*포항공과대학교 산업공학과, \*\*금오공대 산업공학과

## ABSTRACT

Automobile assembly tasks consist of many kinds of manual work which are very stressful to workers because of repetitive poor working postures and dealing heavy weights. To decrease the level of workload, it is necessary to evaluate the workload quantitatively. In this study, a workload evaluation method based on EMG was experimentally evaluated.

We measured EMG at 6 main muscles with 2 healthy male workers during doing 9 assembly tasks, which were selected as high workload jobs. The tasks were decomposed into 36 elementary tasks. The workload was calculated through an equation with %MVIS and work duration time. To evaluate the result, subjective discomfort on the tasks was assessed by 29 workers.

By the calculated workload, we were able to ranked the workload of tasks, elementary tasks. The comparison between the EMG-based workload and subjective rating showed a positive correlation(P-value=0.0246). We think it is possible to adapt the EMG-based workload evaluation technique to all assembly tasks by expanding the experiment size.

## 1. 서론

차량 조립공정은 다양한 부품을 도장된 차체에 조립 또는 부착하여 완성차를 만드는 차량생산의 최종 공정이다. 이 공정에서는 전체 공정의 1/3 이 수작업으로 이루어져 노동집약적이며, 차량실내나 차량아래에서 이루어지는 작업이 많아 다른 제조공정에 비하여 부적절한 자세를 많이 유발하는 등 작업부담도가 높은 특성이 있다. 최근에는 노동시간의 단축화, 젊은이들의 제조업 기피 등으로 인한 노동력 확보의 어려움과 함께, 노동인구의 고령화, 여성 노동인구의 증가 등의 사회적 변화는 작업부담도 경감을 필요로 하고 있다.

작업부담도를 줄이기 위해서는 작업부담도를

정량적으로 평가할 수 있는 기법이 필요하다. 이러한 판단기준을 통해 작업부담도가 큰 작업을 우선적으로 개선함으로써 그 효과를 높일 수 있고, 이를 정량적으로 평가할 수도 있다. 작업부담도 평가기준의 일례로서, 일본의 Toyota 자동차사에서는 TVAL(Toyota Verification of Assembly Line)이라는 평가법을 개발하여 조립공정의 작업부담도를 정량화하여 사용하고 있다.

본 연구는 차량 조립공정의 작업부담도를 평가하기 위한 평가기법의 개발과정의 일환으로 근전도를 이용한 작업부담도를 도출하고, 이러한 결과와 작업자의 주관적 불편도와의 상관성을 분석하여 근전도를 이용한 작업부담도의 타당성의 평가하고자 한다.

## 2. 연구 방법

본 연구의 연구절차는 그림 1 과 같다. 차량 조립공정에서 이루어지는 여러 형태의 작업들 중 근력이 주로 사용되는 일부 단위작업을 선별하여 이들 단위작업에 대해 근전도를 이용한 작업부담도를 계산하였으며, 근전도에 의한 결과와 작업자들의 주관적 평가간의 일치도를 분석하였다. 선정된 단위작업의 작업부담도를 계산하기 위하여 각 작업의 작업자세와 그 자세에서 동원되는 주요 근육의 종류, 작업에 사용되는 공구, 부품의 중량을 조사하였다.

근전도 측정 2명의 작업자로부터 실제 작업장과 동일하게 설계된 시작실에서 측정하였다. 근전도 측정 대상 작업은 근육이 주로 많이 사용되고 상당한 힘이 요구되는 9개의 단위작업으로 헤드라이닝 장착 (앞, 뒤), 프론트 액슬 장착, 머플러 장착, 프론트 범퍼 장착, 크라시 패드 장착 (좌, 우), 프론트 시트 장착, 프론트 도어 클래스 장착 등이다. 그림 2는 크라시패드 장착작업을 나타내고 있다.

각 단위작업은 기본단위작업으로 분류되어, 선정된 단위작업은 총 36개의 기본단위작업으로 이루어졌다. 기본단위작업은 이동, 운반, 들기, 가조립, 체결, 조립, 공구교체 등의 7개로 구성되었다.

작업에 동원되는 근육은 작업의 종류에 따라 달라지기는 하지만 각기 다른 종류의 작업을 하더라도 공통적으로 사용되는 근육은 몇 개의 범주를 벗어나지 않는다. 근전도 측정을 위한 주동근으로는 승모근(Trapezius), 상완이두근(Biceps Brachii), 척완신근(Extensor Carpi Ulnaris), 배근(Erector Spinae), 대퇴직근(Rectus Femoris), 대퇴이두근(Hamstring) 등을 선정하였다.

근전도를 이용한 작업부담도 산출은 일본

Toyota 자동차사에서 작업부담도 평가를 위한 목적으로 개발한 다음과 같은 공식을 기반으로 하여 산출하였다.

$$L = 25.51\log(t) + 117.6\log(f(K, Wa)) - 162.0$$

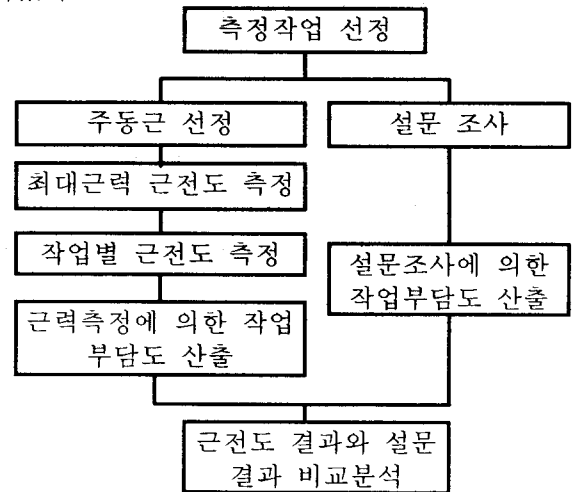
$$f(K, Wa) (N) = 9.311t^{0.013}M^{0.457}$$

t: 지속시간

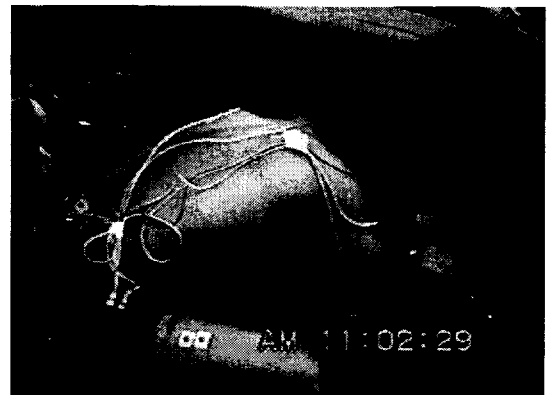
M: 최대근력비(%)

L: 작업부담도

작업자들이 느끼는 주관적인 부담도는 29명의 작업자로부터 설문조사를 통해 평가하였다. 설문은 단위작업별, 기본단위작업별로 어깨, 팔, 손목, 허리, 다리 등의 신체부위별 불편도를 조사하였다.



[그림 1] 연구절차



[그림 2] 크라시패드 장착 작업

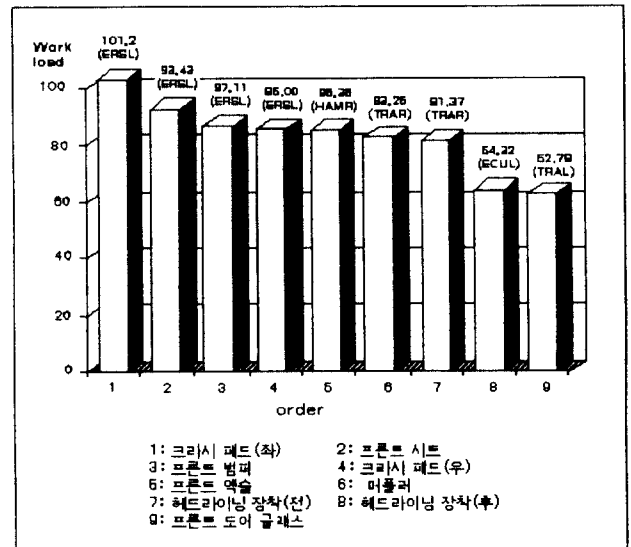
### 3. 결과 및 논의

#### 3.1 근전도에 의한 작업부담도 산출

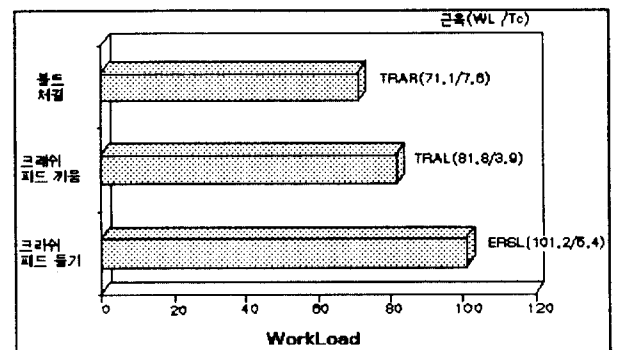
9 개 단위작업을 산출된 작업부담도에 따라 부하순위를 결정하였다(그림 3). 그림에서와 같이 크라시패드(좌) 장착작업이 가장 높은 작업부하를 보였으며, 프론트 시트, 프론트 범퍼 등의 순으로 나타났다. 30 개 기본단위 작업에 대한 작업부담도도 순위를 매겼다.

단위작업별 작업부담도는 그림 4, 그림 5와 같이 대표 작업자세와 작업부하를 분석하였다. 그림 4는 크라시패드(좌) 장착작업의 기본단위작업별 작업부담도로 크라시패드 들기, 크라시패드 끼우기, 볼트 체결의 순으로 부하가 나타났다. 그림 5는 각 크라시패드 장착작업의 대표 작업자세로 크라시패드 들기와 끼우기 작업자세를 나타내고 있다. 크라시패드 들기 작업에서는 허리의 Erector Spinae의 근육에서 가장 높은 작업부담도를 보여, 허리를 이용해 크라시 패드를 들었음을 알 수 있다. 크라시패드 끼우기와 볼트 체결시에는 어깨의 Trapezius 근육이 많이 동원되고 있다.

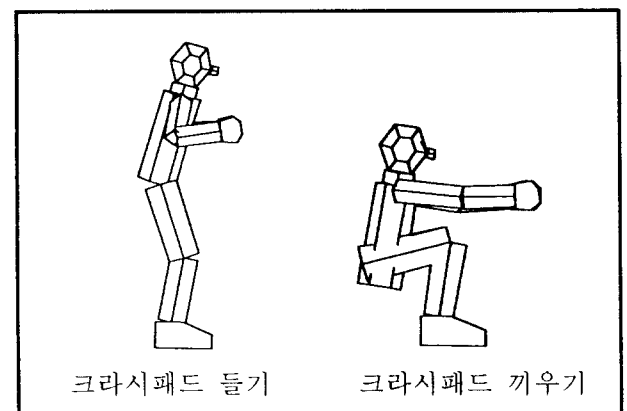
7 개 기본단위작업 유형별 작업부담도를 비교하였다. 36 개 기본단위 작업중 볼트체결작업과 들기작업이 각각 10 개(28%)로 높은 비율을 보이고 있다. 그림 6은 볼트체결작업의 작업부담도를 나타내고 있다. 그림에서 프론트시트 작업에서 Erector Spinae에서의 작업부담도가 가장 크게 나타났으며, 프론트범퍼, 크라시 패드의 순으로 나타났다. 작업부담도가 높게 나타난 작업의 경우에 허리를 굽히거나 비트는 등의 작업자세에서 허리에서의 부하가 큰 것으로 나타났다. 들기작업의 경우에는 허리와 허벅지에서의 부하가 큰 것으로 나타났다.



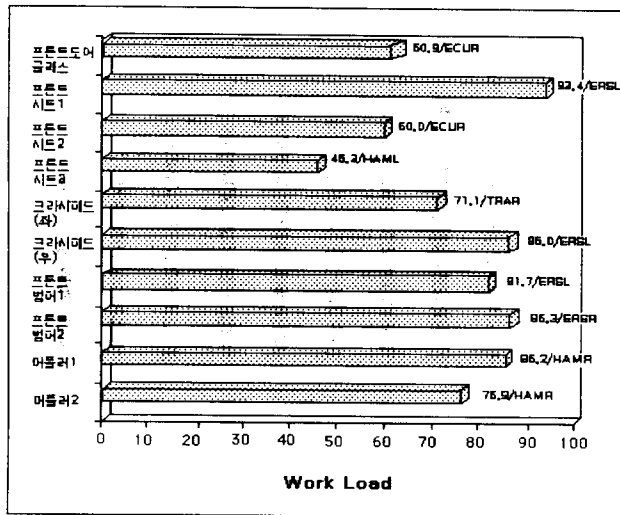
[그림 3] 9개 단위작업의 작업부담도 순위



[그림 4] 크라시패드 장착작업의 작업부담도



[그림 5] 크라시패드 장착작업의 대표 자세



[그림 6] 볼트체결작업의 작업부담도

### 3.2 설문에 의한 작업부담도와 상관성

설문에서는 7개 단위작업을 대상으로 해서 19개 기본단위작업에 대한 작업자들의 주관적 신체불편도를 구하였다. 각 기본단위작업의 신체 불편도는 각 신체부위별 불편도를 합산하여 산출하였으며, 신체불편도에 따라 기본단위작업의 작업부담도 순위를 결정하였다.

근전도에 의한 작업부담도 순위와 신체불편도에 의한 작업부담도 순위의 상관성은 순위상관계수 검정(Rank Correlation Coefficient Test)를 이용하였으며, Spearman 상관계수( $r_s$ )를 이용했다.

검정결과 상관계수  $r_s=0.458$  ( $P$ -value=0.0264)로 나타나 두 작업부담도 순위가 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

## 4. 결론 및 추후연구 방향

본 연구에서는 자동차 조립라인에서 수행되는 작업 중 일부를 선별하여 작업부담도를 측정하였다. 작업부담도는 작업시 동원되는 근육이 낼 수 있는 힘의 몇 퍼센트를 사용하고 있고 작업을 얼마나 오랫동안 지속하느냐에 의해 결정되었고 이를 측정하는 방법으로 근육을 사용할 때 나타나는 근전도를 측정하였다. 또한 작업부담도

측정 결과를 실제 조립라인의 작업자들이 주관적으로 느끼는 부담도와 비교하였다. 설문 결과 작업부담도 측정 결과와 상관관계를 보여 본 연구에서 수행한 작업부담도 측정 방법은 타당성 및 실효성이 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 수행한 작업부담도 측정 실험은 2명의 피실험자를 대상으로 조립라인 현장이 아닌 시작실에서 수행되었다. 따라서, 본 실험의 결과만으로 작업부담도 평가기법의 타당성을 충분히 검증하기에 어려움이 있으며, 실제 작업자들을 피실험자로 한 더 큰 규모의 실험이 요구된다. 또한, 자동차 조립 라인 현장에서 일어나는 모든 작업에 대한 작업부담도를 구하기 위해서는 작업부담도를 예측할 수 있는 모델을 개발하는 방향으로 실험계획이 이루어져야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] Ayoub, M. M. and Mital, A., Manual Materials Handling, Taylor & Francis, p226~264, 1989.
- [2] Chaffin, D. B. and Gunnar B.J. Andersson, Occupational Biomechanics, John Wiley & Sons, Inc., p431~463, 1991.
- [3] Fumioki, S., Kiyoyuki, I., Yoshinori, E. and Satoshi, O., Development of assembly load verification, 43(1), May, 1993.
- [4] Mendemhall et al, Mathematical Statistics with Applications, 4th ed., PWS-KENT, p715~719.
- [5] Putz-Anderson, V., Cumulative trauma disorders : A Manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs, Taylor & Francis, p47~112, 1988.
- [6] Sanders, M. S. and McCormick, E. J., Human Factors Engineering and Design, McGraw-Hill, Inc., p456~485, 1987
- [7] Teruo, K., Atushi, A., Nobuyosi, H, and Tooru, K, Coming worker friendly factory, TOYOTA Technical Review, 43(2), Nov, 1993.