

# 정적인 자세에서 근전도를 이용한 목 근육의 작업부하 평가

김유창 · 정현욱\* · 장성록\*\*

동의대학교 산업경영공학과 · \*대우조선해양 · \*\*부경대학교 안전공학부

(2005. 8. 30. 접수 / 2005. 12. 8. 채택)

## A Study on Evaluation of Neck Muscle Workload in Static Work Using EMG

Yu Chang Kim · Hyun Wook Jeong\* · Seong Rok Jang\*\*

Department of Industrial Management Engineering, Donggeui University

\*Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., LTD.

\*\*Division of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received August 30, 2005 / Accepted December 8, 2005)

**Abstract** : Computer dominated jobs and industrial automation have rapidly created work-related musculoskeletal disorders(WMSDs) and WMSDs are expanding to employee of other general industry. Specific risk factors associated with WMSDs include repetitive motion, heavy lifting, forceful exertion, contact stress, vibration, awkward posture and rapid hand and wrist movement. The purpose of this paper is to analyze the effects of the neck muscle workload according to posture(joint angle) and load weight. Seven male students participated in this study. To analyze neck muscle workload was studied on electromyographic(EMG) activity for sternocleidomastoid and trapezius, was subjectively rated using a Borg's CR-10 scale. ANOVA showed that the CR-10 ratings and most EMG root-mean-square (RMS) value were statistically significant improvement according to posture(joint angle) and load weight. The results of this study indicate the joint angle and weight of neck muscle workload to provide safe working conditions. To reduce the large number and severity of WMSDs employees have been experiencing, we need to redesign the job in workplace to identify and control hazards that are reasonably likely to be causing or contributing to the WMSDs.

**Key Words** : neck workload, static work, WMSD, EMG

### 1. 연구개요

근골격계질환(work-related musculoskeletal disorders)은 매년 급속히 증가하여 기업에 큰 인적·물적 비용손실을 초래하고 있다<sup>2)</sup>. 특히 노동집약적인 작업환경을 가지는 제조업, 자동차 조립, 조선업, 그리고 VDT작업 등에서 많은 근골격계 질환이 발생하고 있고, 그 원인은 부적절한 작업자세, 힘, 반복 등이 원인으로 알려져 있다<sup>1)</sup>. 이와 관련한 연구는 전화번호 안내원<sup>2)</sup>, 맨홀작업자<sup>3)</sup>, 자동차공장 작업자<sup>4)</sup>, 유통운수업 종사자<sup>6)</sup>, 정비작업자<sup>7)</sup> 등과 같이 국내 여러 분야에서 보고되고 있다.

정밀 시각작업 및 과일 따는 작업등은 작업특성에 따라 작업자가 대상물을 주시하기 위해 목 관절의 정적인 자세를 유지하게 되는데, 지속적인 정적수축에 의한 근육피로는 시간이 경과함에 따라 심각한 증상으로 발전하게 된다<sup>10)</sup>. 이러한 목 근육의 피로는 머리와 목을 움직이는 다양한 근육, 정신물리학적 영향 등에 의해 발생하므로 이를 평가하는데 어려움이 있어, 목 근육에 관한 연구는 다른 신체 부위에 대한 연구에 비해 미흡한 실정이다<sup>9)</sup>. 최근에 목의 관절변화에 따른 작업부하에 대한 연구는 이루어졌으나 직접적인 무게변화에 대한 연구는 없었다<sup>8)</sup>.

본 연구에서는 앉은 상태의 정적인 자세에서 머리를 움직이는 목의 4가지 관절동작에서, 4가지 자세와 4가지 무게를 가지고 주관적 불편도(Borg's CR-10

\* To whom correspondence should be addressed.  
yckim@deu.ac.kr

scale)평가와 근전도(EMG)측정을 실시하였다. 실험에서 얻은 주관적 불편도와 EMG 신호의 관계를 분석하였다. 본 연구의 결과는 근골격계 위험 부담을 줄일 수 있는 작업 환경 및 방법의 설계에 도움이 될 것으로 기대된다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 피실험자

과거 목 근육의 근골격계 병력이 없는 24.6±1.4세의 남자 7명을 대상으로 하였고, 신장은 174.43±2.44, 체중은 68.79±7.43이었다. 실험전 Borg's CR-10 scale과 근전도(EMG) 실험에 대한 충분한 설명을 하여 실험에 대한 부담감을 해소하였다.

### 2.2. 실험설계

목의 4가지 관절동작은 굴곡(flexion), 신전(extension), 회전(rotation), 옆으로 굽힘(lateral bending)으로 분류되었다(Fig. 1). 관절각은 RULA(The Rapid Upper Limb Assessment), OWAS(Ovako Working Posture Analysing System), 기도형 연구 등의 목 동작의 자세분류 체계를 참조하여 4가지 각도로 분류하였다. 또한, 무게 부하는 현재 작업현장에서 사용하고 있는 안전모, 용접면, 보호두건 등과 같이 목 근육에 부하를 주고 있는 개인 보호구의 무게를 측정하여 4가지 무게로 분류하였고(Table 1), 안전모에 지점토를 부착하여 무게를 조절하였다.

Table 1. Joint angle and weight for movement

| 굴곡, 신전, 회전 |       | 옆으로 굽힘 |       |
|------------|-------|--------|-------|
| 각도         | 무게    | 각도     | 무게    |
| 0°         | 0kg   | 0°     | 0kg   |
|            | 0.5kg |        | 0.5kg |
|            | 1kg   |        | 1kg   |
|            | 2kg   |        | 2kg   |
| 20°        | 0kg   | 15°    | 0kg   |
|            | 0.5kg |        | 0.5kg |
|            | 1kg   |        | 1kg   |
|            | 2kg   |        | 2kg   |
| 40°        | 0kg   | 30°    | 0kg   |
|            | 0.5kg |        | 0.5kg |
|            | 1kg   |        | 1kg   |
|            | 2kg   |        | 2kg   |
| 60°        | 0kg   | 45°    | 0kg   |
|            | 0.5kg |        | 0.5kg |
|            | 1kg   |        | 1kg   |
|            | 2kg   |        | 2kg   |

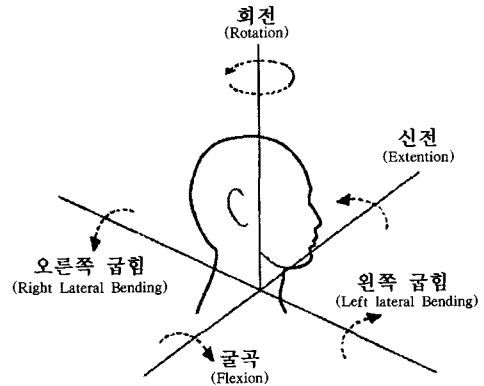


Fig. 1. Movement of neck.

실험은 위의 4가지 목의 관절동작에 대해서 4가지 각도와 무게를 가지고 앉은 상태에서 1분간 정적인 자세를 유지하도록 하였다.

### 2.3. 실험장비 및 절차

본 연구에서는 피실험자 목 근육의 작업부하와 스트레스를 측정하기 위해 Borg's CR-10 scale과 근전도를 사용하였다.

Borg's CR-10 scale은 비율척도(rating scale)로 대부분의 수학적 계산이 수행될 수 있다. Borg는 정적인 작업(static contraction work)의 아픔, 고통과 같은 주관적인 증상에 대해 이 scale을 사용하는 것을 권고하고 있다. Borg's scale은 심박수를 근거로 개발되었기 때문에 육체 작업부하를 분류하는데 이용할 수 있다. 대부분 Borg's CR-10 scale이 '3' 미만의 값을 보이면 안전작업, '3' 이상 '5' 이하의 값은 위험, '5' 이상의 작업은 고위험 작업으로 분류할 수 있다.

주관적 불편도 평가는 Table 1에서 제시한 각각의 실험조건에서 앉은 상태에서 1분간 정적인 자세를 유지한 후 실험을 종료한 다음, 다른 사람들의 방해받지 않고 Borg's CR-10 scale에 답하도록 하였다. 옆으로 굽힘의 경우 오른쪽 굽힘만을 가지고 실험을 실시하였다. 목 관절을 제외한 다른 관절은 중립자세를 유지하기 위해 상체와 하체를 의자에 고정시킨 후 각 관절동작의 16가지 실험조건을 랜덤하게 실험을 수행하였다. 불편도 평균에 대한 통계적인 분석방법은 SPSS 10.0 for Windows를 이용하여 각도와 무게에 대한 분산분석을 실시하였다.

근육활동 분석을 위한 근전도 실험에서는 머리와 목을 움직이는 근육으로 가장 중요한 흉쇄유돌근(sternocleidomastoid)과 경견완장해에 관련되어 많은

Table 2. Borg's CR-10 scale

|     |                          |                   |
|-----|--------------------------|-------------------|
| (•) | 최대(Maximal)              |                   |
| 10  | 극도로 강함(Extremely strong) | (almost max)      |
| 9   |                          |                   |
| 8   |                          |                   |
| 7   | 매우 강함(Very strong)       |                   |
| 6   |                          |                   |
| 5   | 강함(Strong)               | (heavy)           |
| 4   |                          |                   |
| 3   | 보통(Moderate)             |                   |
| 2   | 약함(Weak)                 | (light)           |
| 1   | 매우 약함(Very weak)         |                   |
| 0.5 | 극도로 약함(Extremely weak)   | (just noticeable) |
| 0   | 전혀 무감각(Nothing at all)   |                   |

연구가 되어온 승모근(trapezius)이 근전도(Electromyography, EMG) 분석의 대상이 되었다. 이 외에도, 머리와 목을 움직이는 많은 근육들이 있으나, 대부분이 심층근이어서 표면 근전도를 사용하기 어려움으로 인해 분석대상으로 선택되지 못했다. 실험은 회전(rotation)을 제외한 3가지 관절동작에 대하여 4가지 각도와 무게의 실험조건을 가지고 앉은 상태에서 정적인 자세를 취하는 동안 측정되었다. 4가지 관절동작 중 회전(rotation)은 예비실험결과 낮은 주관적 불편도(Borg's CR-10 scale 3이하)를 보여 근전도 실험에서는 제외하였다. 각각의 실험조건에서 앉은 상태에서 1분간 정적인 자세를 유지한 후 근전도를 측정하였으며 실험 후 30분 이상의 휴식시간을 가졌으며, 각 실험조건들은 랜덤하게 행해졌다.

근전도 실험을 위한 장비로는 측정대상 근육의 EMG 신호를 검출하기 위하여 Thought Tech사에서 개발하여 보급한 FlexComp EMG solution을 이용하였다. 관절의 각도를 측정하기 위해 사용된 장비는 TAKEI사의 Flexion Meter가 사용되었고, 무게를 측정하기 위해 CAS 전자저울 SW-1(오차:±5g)이 사용되었다.

근전도 측정을 위해 실험 전, 각 근육에 Ag-AgCl 전극을 3개(positive, negative, reference electrode) 부착하여 30분간 에이징(aging)을 실시하였다. 흉쇄유돌근과 승모근은 좌·우측으로 쌍을 이루므로, 4개의 대상 근육에 모두 전극을 부착하고, 실험의 목적과 방법에 대한 충분한 설명을 하였다. 또한, 데이터의 RMS 신호의 신뢰도를 높이기 위하여 low pass filter를 사용하였다. 근전도 신호는 초당 992개의 원 데이터를 측정하였고, 초당 16개의 RMS 신호를 측정하였다.

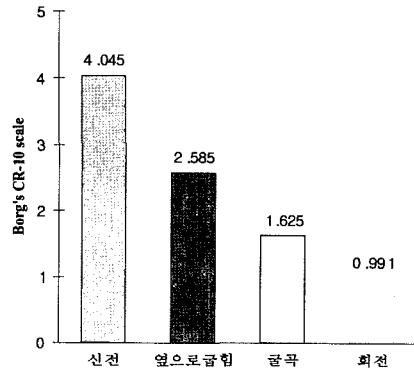


Fig. 2. Mean of Borg's scale for movement of neck.

### 3. 결과

#### 3.1. 주관적 평가의 분석

4가지의 관절 동작에 대한 각각 16가지 실험조건군의 평균을 살펴보면, 신전(extension)의 평균이 가장 높게 나타났으며, 옆으로 굽힘(lateral bending), 굴곡(flexion), 회전(rotation)순으로 나타났다(Fig. 2). 각 관절동작에 대한 분산분석 결과 무게와 각도에 따라 매우 유의함( $p < 0.01$ )함을 알 수 있었다.

#### 3.2. 근전도를 이용한 근육활동의 분석

흉쇄유돌근과 승모근을 대상으로 무게와 각도를 가지고 EMG 진폭의 변화를 분석함으로써, 정적인 앉은 자세에서의 근육활동을 관찰하였다.

실험결과 RMS값의 전체적인 평균을 살펴보면, Borg's CR-10 scale을 이용하여 주관적 불편도를 측정했을 때 가장 큰 불편도 값을 가졌던 신전(extension)의 RMS 값이 가장 크게 나타났으며, 굴곡과 옆으로 굽힘(lateral bending)은 거의 비슷한 값을 보였다(Fig. 3).

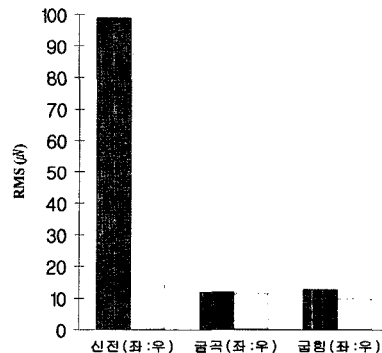


Fig. 3. RMS of sternocleidomastoid(left) for flexion.

**(1) 굴곡(flexion)**

무게와 각도에 따른 흉쇄유돌근의 RMS의 평균 값(Fig. 4, 5)을 가지고 분산분석을 실시한 결과, 각도에 따라 매우 유의( $p < 0.01$ )하게 나타났으며, 무게와 교호작용에 대해서는 유의하게 나타나지 않았다. 굴곡에서는 각도의 증가에 따라 근전도의 RMS 값이 증가함을 알 수 있다. 승모근의 경우는 무게와 각도 모두 유의한 결과를 보이지 않았다. 이것은 상체를 고정하여 목 관절만을 사용하게한 결과라 할 수 있다.

**(2) 신전(extension)**

신전은 실험의 3가지 관절동작 중 가장 큰 근육 활동을 보이고 있으며, 주관적 불편도와 같이 높은 RMS 값을 보이고 있다. 무게와 각도에 대한 RMS 근전도 데이터 값의 분산분석 결과 흉쇄유돌근의 경우 매우 유의함( $p < 0.01$ )을 알 수 있었고, 무게와 각도의 교호작용은 없었다. 승모근은 굴곡과 마찬가지로 유의함을 보이지 않았다.

흉쇄유돌근의 경우 40°의 각도까지는 RMS의 값이 선형적으로 증가함을 보였고, 40°와 60° RMS 평

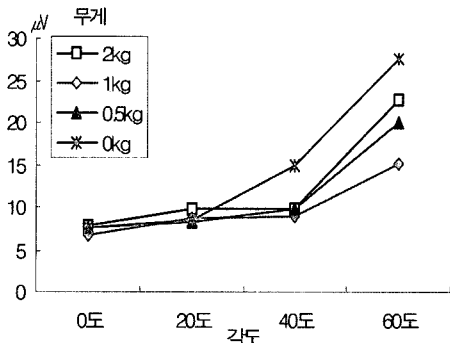


Fig. 4. RMS of sternocleidomastoid(left) for flexion.

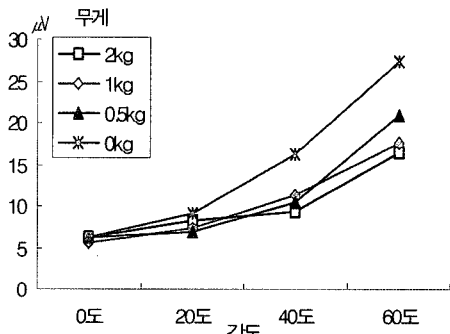


Fig. 5. RMS of sternocleidomastoid(right) for flexion.

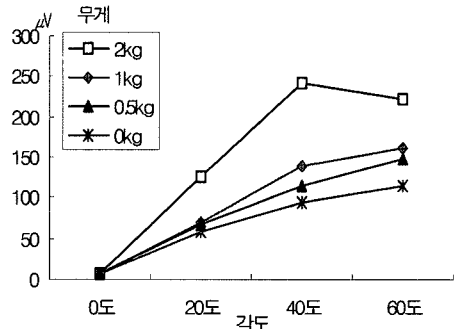


Fig. 6. RMS of sternocleidomastoid(left) for extension.

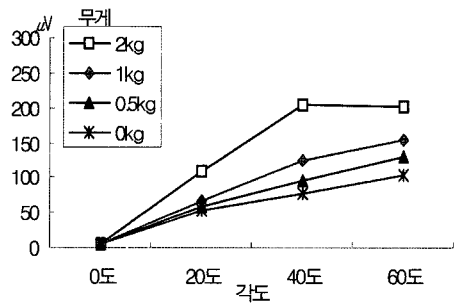


Fig. 7. RMS of sternocleidomastoid(right) for extension.

균값이 큰 차이는 보이지 않는 것으로 나타났다. 2kg의 무게는 다른 무게에 비해 상대적으로 매우 높은 RMS 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다(Fig. 6, 7).

**(3) 옆으로 굽힘(lateral bending)**

오른쪽 굽힘만을 수행한 이 실험에서, 좌측 흉쇄유돌근 RMS 값은 분산분석 결과 무게와 각도는 유의하였다( $p < 0.01$ ). 우측 흉쇄유돌근의 분산분석 결과 무게와 각도는 유의하였다( $p < 0.01$ ). 그러나 앞의 다른 관절동작들과 마찬가지로 승모근에서는 유의한 차이는 없었다. 근육 이완이 이루어지는 좌측

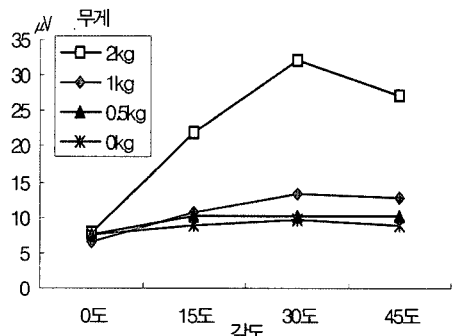


Fig. 8. RMS of sternocleidomastoid(left) for lateral bending.

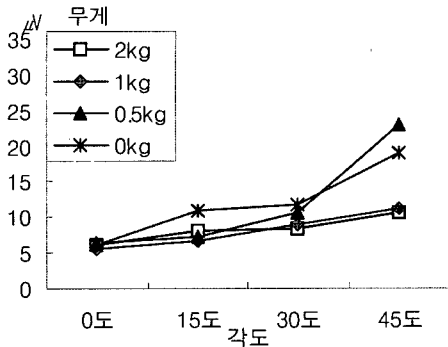


Fig. 9. RMS of sternocleidomastoid(right) for lateral bending.

흉쇄유돌근의 경우 2kg의 무게를 가진 실험에서 큰 RMS 값을 보였다(Fig. 8, 9).

### 4.3. 주관적 불편도와 근전도의 상관분석

주관적 불편도의 실험으로 얻은 Borg's CR-10 scale의 값과 근전도 실험의 흉쇄유돌근 RMS 값을 가지고 상관분석을 실시하였다. 굴곡, 신전, 그리고 옆으로 굽힘의 관절동작에서는 유의한 상관관계를 나타내고 있다. 상관분석의 결과는 다음과 같다.

Table 3. Correlation coefficient between Borg's CR-10 scale and RMS of sternocleidomastoid for flexion

| 주관적 불편도            |          | 근전도 | 흉쇄유돌근 RMS |        |
|--------------------|----------|-----|-----------|--------|
|                    |          |     | 좌         | 우      |
| Borg's CR-10 scale | 피어슨 상관계수 |     | 0.422*    | 0.405* |
|                    | 유의확률(양쪽) |     | 0.000     | 0.000  |
|                    | 표본수      |     | 112       | 112    |

Table 4. Correlation coefficient between Borg's CR-10 scale and RMS of sternocleidomastoid for extension

| 주관적 불편도            |          | 근전도 | 흉쇄유돌근 RMS |        |
|--------------------|----------|-----|-----------|--------|
|                    |          |     | 좌         | 우      |
| Borg's CR-10 scale | 피어슨 상관계수 |     | 0.612*    | 0.636* |
|                    | 유의확률(양쪽) |     | 0.000     | 0.000  |
|                    | 표본수      |     | 112       | 112    |

Table 5. Correlation coefficient between Borg's CR-10 scale and RMS of sternocleidomastoid for lateral bending

| 주관적 불편도            |          | 근전도 | 흉쇄유돌근 RMS |        |
|--------------------|----------|-----|-----------|--------|
|                    |          |     | 좌         | 우      |
| Borg's CR-10 scale | 피어슨 상관계수 |     | 0.508*    | 0.216* |
|                    | 유의확률(양쪽) |     | 0.000     | 0.022  |
|                    | 표본수      |     | 112       | 112    |

\*. 상관계수는 0.05 수준에서 유의

## 5. 결론 및 토의

본 연구는 이전의 연구에서 논의된 작업자세 뿐만 아니라 근골격계질환의 원인으로 알려져 있는 힘을 포함하여 실험하였다. 정적인 앉은 작업자세에서 각도와 무게를 이용한 부하를 가지고 주관적 불편도의 경향을 분석하고 EMG 실험을 통해 근육활동을 평가하였다. 실험의 결과로 목 근육의 부하를 주는 무게와 작업자세가 작업자의 주관적 불편도와 근전도의 신호에 영향을 미치며, 주관적 불편도와 근전도 사이의 상관관계도 알 수 있었다.

주관적 불편도 평가 결과, 목의 4가지 관절동작 중 신전(extension)의 불편도 평균이 가장 크게 나타났으며, 옆으로 굽힘(lateral bending), 굴곡(flexion), 회전(rotation) 순으로 나타났다. 각 관절동작에 대한 무게와 각도에 대한 분산분석 결과 매우 유의(p < 0.01)하게 나타났다. 이것은 무게와 각도가 커짐에 따라서 큰 불편을 느끼는 것을 알 수 있다.

흉쇄유돌근과 승모근을 평가한 EMG 실험의 결과에서, 흉쇄유돌근은 신전의 RMS 평균이 가장 크게 나타났으며 굴곡과 옆으로 굽힘의 RMS 평균은 비슷한 값을 보였다. 목의 근육에 대한 연구에서 승모근을 많이 사용하고 있으나 승모근의 경우 각 관절 동작의 무게와 각도에 대해서 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 팔과 상체를 고정시킴으로써 목 관절동작만의 실험은 승모근에 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다. 굴곡의 경우 흉쇄유돌근은 각도가 증가함에 따라 RMS 값이 유의하게 증가함을 보이고 있으나, 무게에 대해서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 신전의 흉쇄유돌근은 각도와 무게가 증가함에 따라 RMS 값이 유의하게 증가함을 보였다. 이것은 근전도 실험을 측정할 3가지 관절동작 중 주관적 불편도와 가장 높은 상관관계(r=0.6)를 보였다. 옆으로 굽힘의 흉쇄유돌근의 변화는 무게와 각도 모두 유의한 차이를 보였다.

3가지 관절동작(굴곡, 신전, 옆으로 굽힘) 좌, 우측 근육의 근전도 데이터 중 RMS 값이 차이를 보이는 이유는 관절동작을 행할 때, 좌우로 치우침 없이 굽히거나 들어올리지 못함으로써 발생한 오차로 생각된다.

본 연구결과는 머리와 목의 정적인 자세에서 목의 관절 각도와 무게에 따른 근육 부하를 알 수 있어 목의 피로 및 통증을 예방하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 목의 4가지 관절 동작에서 단일 관절 동작에 대해서만 연구가 이루어졌고, 흉쇄유돌근 하나의 근육과 주관적 불편도를 비교하는데 한계가 있을 것으로 생각된다. 그러므로 머리와 목을 움직이는 여러 근육에 대한 연구, 복합관절 동작에 대한 세부적인 연구가 이루어져야 할 것이며 지속시간에 따른 근육 부하와 불편도 조사 등도 연구되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- 1) 김유창, 정현욱, “미국의 인간공학 프로그램과 한국에서의 적용 방안”, 한국산업안전학회 추계 학술대회, 2000.
- 2) 김유창, 최용환, “전화번호 안내원의 근골격계 질환 실태에 관한 연구”, 대한인간공학회 추계 학술대회 논문집, 2000.
- 3) 김유창, 이태현, 정현욱, “맨홀작업의 근골격계 질환 실태에 관한 연구”, 안전경영과학회 춘계 학술대회 논문집, 2001.
- 4) 김철홍, 김승남, 이준엽, 윤덕기, 조성에, “자동차공장 작업자의 근골격계질환 실태에 관한 연구 : Part I”, 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, 2000.
- 5) 노동부, “99 산업재해분석”, 2000.
- 6) 이유태, 정민근, “유통 운수업 종사자들의 생리부하 평가”, 대한인간공학회 추계학술대회 논문집, 1998.
- 7) 정민근, 최경임, 송영웅, 이인석, 이명수, “정비작업에 대한 인체역학적 부하 및 작업자세 평가”, 대한인간공학회지, 제16권, 제3호, 1997.
- 8) 기도형, “작업자세부하 평가를 위한 자세 분류 체계의 연구 현황 - 관측법을 중심으로”, 한국산업안전학회지, 제15권, 제4호, 2000.
- 9) National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), “Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors : A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back”, DHHS(NIOSH) Publication, pp. 97~141, 1997.
- 10) S. Scutter, K. S. Turker, R. Hall, “Headaches and neck pain in farmers”, The Australian Journal of Rural Health, Vol. 5, No. 1, pp. 2~5, 1997.