

# ACGIH Hand Activity Level TLV<sup>®</sup>의 현장 적용 및 평가

김부욱<sup>1</sup> · 우지훈<sup>2</sup> · 강동묵<sup>3</sup> · 신용철<sup>4†</sup>

<sup>1</sup>산재의료관리원 직업성폐질환 연구소 · <sup>2</sup>노동환경건강연구소  
<sup>3</sup>부산대학교 의과대학 예방 및 산업의학교실 · <sup>4</sup>인제대학교 보건안전공학과

## Field Application and Evaluation of the ACGIH Hand Activity Level TLV<sup>®</sup>

Boo Wook Kim<sup>1</sup> · Ji Hoon Woo<sup>2</sup> · Dongmug Kang<sup>3</sup> · Yong Chul Shin<sup>4†</sup>

<sup>1</sup>Center for Occupational Lung Diseases, Workers Accident Medical Corporation

<sup>2</sup>Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health

<sup>3</sup>Department of Preventive and Occupational Medicine, Pusan National University

<sup>4</sup>Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University

The Strain Index(SI) has been commonly used to evaluate the musculoskeletal disorders(MSDs) of upper extremities. Recently, the American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH) adopted the Threshold Limit Value for hand activity level (HAL TLV) focused on the hand, wrist, and forearm. The MSDs risks of 37 repetitive works conducted at an automobile climate control system manufacturing factory were evaluated using both the HAL TLV and the SI, and the results by two methods were compared. Also, measured repetitive frequencies of upper limbs joint were measured using electromyogram and electrogoniometer. The evaluation results of the HAL were related with the repetitive frequency data of upper limbs joint by electrogoniometer, and the NPF was related with %MVC of ECU. The evaluation result of HAL TLV was highly related with the SI score( $r=0.66$ ,  $p<0.01$ ). Of total 37

tasks, 25 tasks(67.6%) were exceeded the TLV and 34 tasks(91.9%) exceeded the SI limit. Although there was a high relationship between the HAL TLV and SI score, the HAL TLV underestimated the risk in comparison with the SI. The correlation coefficients( $r$ ) between the HAL TLV data and the repetitive frequency of upper limbs joint were  $0.45 \sim 0.55$ ( $p<0.01$ ). The MSD symptoms was significantly different between high risk groups and low risk groups evaluated by HAL TLV( $p<0.01$ ), but was not different between two groups by SI. In conclusion, the HAL TLV is a proper tool for repetitive works.

**Key Words** : musculoskeletal disorders, repetitive upper limb work, Hand Activity Level TLV, %MVC, electrogoniometer, Strain Index

## I . 서 론

작업 관련 근골격계 질환(MSDs)은 누적외상성 질환(cumulative trauma disorders CTDs), 반복성긴장장애(Repetitive

Strain Injuries, RSI), RMS (Repetitive Motion Disorders), overuse syndromes, microtraumas, shoulder-arm syndromes, 경건완증후군이란 용어로 많이 사용하고 있다. 한편 National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)에서는 누적외상성 질환

접수일 : 2006년 3월 10일, 채택일 : 2006년 4월 11일

† 교신저자 : 신용철 (경남 김해시 어방동 607번지 인제대학교 보건안전공학과

Tel : 055-320-3676, Fax : 055-325-2471, E-mail : ycsin@inje.ac.kr)

환을 적어도 1주일 이상 또는 과거 1년간 적어도 한달에 한번 이상 상지의 관절부위(목, 어깨 팔꿈치 및 손목)에서 지속되는 하나 이상의 증상들(통증, 쑤시는 느낌, 뻣뻣함, 화끈거리는 느낌, 무감각 또는 찌릿찌릿함)이 존재하고 동일한 신체 부위에 유사질환과 사고 병력이 없어야 하고, 증상은 현재의 작업으로부터 시작되어야 한다고 정의하고 있다(NIOSH, 1989).

우리나라의 업무상질환 중 근골격계질환 비율은 2004년에는 44.8% (4,112명)(노동부, 2005)로 업무상질환 중 근골격계질환이 차지하는 비율이 높고 증가되고 있는 추세이다. 최근 작업관련성 근골격계질환으로 요양승인된 사례 분석(안연순 등, 2002)에 의하면 요부질환이 54.7%, 경부 및 상지질환이 43.2%, 하지질환이 2.1%를 나타내었다.

요추부의 위험성 정도를 평가하기 위한 인간공학 분석도구는 많이 개발되어 현장에서 널리 사용되고 있으나 손목, 팔의 위험성을 평가하기 위해 개발된 도구로는 Strain Index (SI) (Moore and Garg, 1995)를 제외하고는 적절한 도구가 없는 실정이다.

최근에 American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)에서 개발된 Hand Activity Level Threshold Limit Values (HAL TLV) (ACGIH, 2005a)는 손, 손목 그리고 전완 부위의 근골격계 위험성을 평가하기 위해 개발된 도구이다. 이것은 반복적인 수작업에 매일 노출 되었을 때 거의 모든 근로자가 상지 질환이 발생하지 않을 것으로 믿는 기준으로 손의 반복 활동도를 나타내는 hand activity level (HAL)과 작업 시 힘쓰는 또는 노력의 정도를 나타내는 normalized peak force (NPF) 2개의 변수만으로 어떤 작업에 대한 근골격계 위험 평가가 가능한 장점을 지니고 있다. 그러나 본 도구는 발표된 지가 오래되지 않았고 변수의 값을 평가하는 방법이 단순화되었기 때문에 현장에 적용한 사례나 정확성이나 타당성에 대한 자료가 부족하므로 이에 관한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 상지 반복 사용빈도가 높은 근로자들을 대상으로 기존의 SI와 현장에서의 검증자료가 미흡한 HAL TLV를 이용하여 현장 평가를 실시하고 두 도구의 결과 비교를 통해 도구간의 차이점을 알아보고자 한다. 또한 전자각도기(electrogoniometer)와 근전도 측정기를 이용하여 작업분석을 실시하고 이를 통해 구한 객관적 결과와 HAL TLV 평가결과를 비교하여 본 도구의 현장 적용성을 검증하는데 있다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구대상은 창원시에 소재한 자동차 제동장치 및 구동장치 제조업체이었다. 본 업체를 방문하여 근로자들의 작업을 관찰하였으며 이들 중 1일 4시간 이상 단일(mono) 반복수작업을 주로 수행하는 37명을 연구대상으로 선정하였다. 개별 작업의 신체부위에 대해 불편이나 통증 호소여부를 묻는 자각증상 설문지를 통해 근골격계 자각증상을 조사하였다.

### 2. 자각증상조사

연구대상군의 근골격계질환 자각증상을 조사하기 위한 설문지는 NIOSH의 표준화된 설문지(Hales et al., 1994)와 송동빈(송동빈, 1998)이 만든 설문지를 토대로 자각증상의 지속기간, 빈도, 강도, 치료경력, 작업내용, 작업조건, 개인의 인구학적 특성과 근무경력을 묻는 항목으로 구성하였다.

인구학적 특성은 성별, 연령, 학력, 결혼여부로 분류하였고, 근무기간, 일일 근무시간, 주 근무시간으로 직무와 관련된 사항을 분류하였다. 작성된 설문지에 불편이나 통증을 호소하는 부위를 표시하게 하였으며 통증의 강도에 대한 내용은 5가지 척도로 구분하여 표시하도록 하였다. 근골격계질환의 위험인자를 확인하기 위해 실제 작업자들이 실행하고 있는 작업방식과 형태를 간단한 질문에 대한 답을 하게 하여 객관적인 위험요인을 조사할 수 있도록 작성하였다.

설문지는 자기 기입식으로 작성하게 하였으며, 설문지 작성법, 조사목적을 충분히 설명한 후 작성자 스스로 답을 하게 하였다. 작성된 설문지는 가능한 현장에서 검토하고 부족한 부분은 직접 작성자와 면담하여 완성하도록 하였다. 근골격계질환에 대한 판정 기준은 NIOSH의 작업관련 근골격계질환 감시기준에 따라, 적어도 통증이 1주일 이상 지속 또는 과거 1년 간 한달에 한번 이상 반복되는 상지의 관절부위에서 하나 이상의 증상들이 있는 경우로 하였다.

### 3. 연구대상 평가도구

#### 1) ACGIH HAL TLV

HAL은 반복 수작업시 손 활동의 정도를 나타내는 수치로써 현장에서 작업을 관찰하며 결과를 바로 산출할 수 있는 방법으로 Fig. 1을 통해 산출한다.

NPF는 작업시 힘의 사용 정도로써 Table 1에 제시된 3가지 방법으로 산출할 수 있다. 근전도 및 작업자의 주관적 척도인 Borg Scale (Borg, 1982) 그리고 관찰자의 주관적 척도인 Moore-Garg Observation (Moore and Garg, 1995)이다. 본 연구

에서는 Borg Scale을 사용하여 HAL을 평가하였다.

결과(Ratio) 산출은 HAL, NPF 두 변수의 결과를  $NPF/(10 - HAL)$  공식을 이용하여 최종 결과인 Ratio를 산출한다 (Table 2). 산출된 Ratio가 0.56에서 0.78 사이로 나타나면 Action Limit (AL)로서 교육 및 작업감시가 필요한 영역이며, 0.78은 HAL TLV이고, 0.78을 초과하면 근골격계질환 발생 가능성이 높아지는 위험 작업 영역에 해당된다.

## 2) The Strain Index(SI)

SI를 이용한 작업분석은 Table 3에 제시된 기준에 따라 반

복 수작업을 평가한 후 각각 변수마다의 점수의 곱을 통하여 산출한다. SI의 기준은 score 5로서 이를 초과하면 근골격계질환 발생 가능성이 높아지는 위험 작업 영역에 해당된다.

## 4. 작업관찰, 비디오 촬영 및 작업분석

현장에서 작업을 관찰한 후 작업의 사이클 당 2 - 3회 촬영한 비디오를 보며 HAL TLV와 함께 비교도구인 Strain

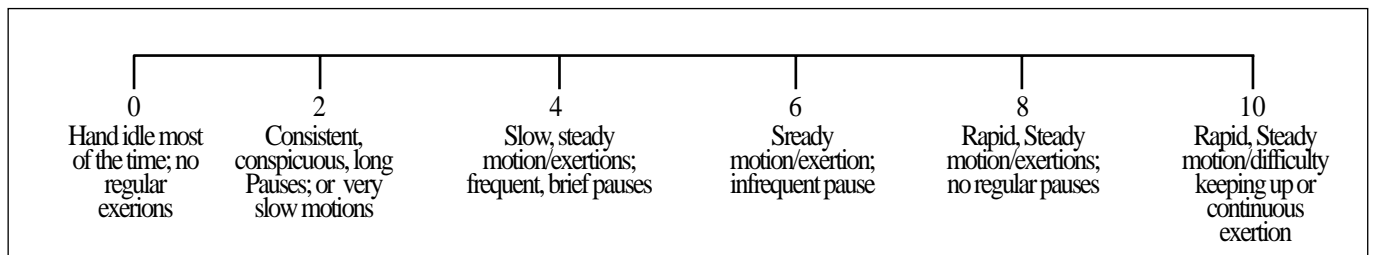


Fig. 1. HAL(0 to 10) rating scales.

Table 1. Three NPF(0 to 10) rating methods

| %MVC <sup>A</sup> | Borg Scale |                                   | Moore-Garg Observation                            | NPF |
|-------------------|------------|-----------------------------------|---|-----|
|                   | Score      | Verbal Anchor                     |   |     |
| 0                 | 0          | Nothing at all                    | -   | 0   |
| 5                 | 0.5        | Extremely weak (just noticeable)  | Barely noticeable or relaxed                      | 0.5 |
| 10                | 1          | Very weak                         | -   | 1   |
| 20                | 2          | Weak(light)                       | Noticeable or definite effort                     | 2   |
| 30                | 3          | Moderate                          | -   | 3   |
| 40                | 4          | -                                 | Obvious effort, but unchanged facial expression   | 4   |
| 50                | 5          | Strong(heavy)                     | -   | 5   |
| 60                | 6          | -                                 | Substantial effort with changed facial expression | 6   |
| 70                | 7          | Very strong                       | -   | 7   |
| 80                | 8          | -                                 | -   | 8   |
| 90                | 9          | -                                 | Uses shoulder or truck for force                  | 9   |
| 100               | 10         | Extremely strong (almost maximum) | -   | 10  |

<sup>A</sup>Maximum Voluntary Contraction

Table 2. AL and TLV corresponding to ratio

|                 | AL(Action Limit) | TLV(Threshold Limit Values) |
|-----------------|------------------|-----------------------------|
| Temperature (℃) | 0.56             | 0.78                        |

Index (SI) (Moore and Garg, 1995)를 이용하여 작업분석을 실시하였다.

ACGIH HAL TLV (ACGIH, 2005a; ACGIH, 2005b)에 제시되어 있는 방법을 이용하여 각 작업에 대한 HAL과 NPF 두 변수의 값을 구한 후  $NPF/(10-HAL)$  공식을 이용하여 Ratio를 산출하였다. Ratio가 0.56에서 0.78 사이로 나타나면 Action Limit (AL)로서 작업감시가 필요한 영역이며, 0.78은 HAL TLV이고, 0.78을 초과하면 근골격계질환 발생 가능성이 높아지는 위험작업 영역에 해당된다.

## 5. ACGIH HAL TLV와 근전도 및 전자각도기에 의한 반복빈도 결과간 비교

HAL TLV를 이용한 작업평가의 타당성 검증을 위한 객관적 결과의 측정은 근전도와 2차원 전자 각도기 (electrogoniometer SG type, Biometrics, UK) 및 1차원 전자 각도기 (Q type, Biometrics, UK)를 이용하여 손목 및 팔꿈치의 반복빈도를 측정하여 비교하였다.

근전도 측정은 본 연구대상인 라인작업의 특성을 고려하여 손가락으로 물체를 잡는데 사용되는 전지굴근 (Flexor Digitorum Superficialis: FDS)과 손목을 뒤로 젖히는데 사용되는 척측수근신근 (Extensor Carpi Ulnaris: ECU) 표면에 Pre amplifier (SX230, Biometrics, UK)를 부착하여 근전도를 측정하였다. 측정된 근전도의 개인간 차이를 보정하기 위해 100% 최대 자율성 수축 (Maximum Voluntary Contraction: MVC)은 등척성 근육수축 (isometric contraction)을 3회 실시하여 세 측정값이 특이한 차이점을 보이지 않을 때 세 값을 평균하여 사용하였다. 근전도 값은 근전도 분석기에 의해 근육

에서 발생하는 힘의 크기를 root mean square (RMS)의 평균값을 사용하였다. 근 긴장도를 표준화 (normalization) 하기 위해 공식 (1)을 이용하였다.

작업 중 40분 정도 근전도를 측정하였으며, 부착 후 실제 작업까지의 시간과 중간의 휴식시간은 제외한 연속작업이 시행된 30분의 실측치를 분석에 이용하였다.

상지 관절 움직임의 반복빈도 측정은 2차원 전자 각도기 (electrogoniometer SG type, Biometrics, UK)와 1차원 전자 각도기 (Q type, Biometrics, UK)를 의료용 양면테이프를 이용하여 근로자의 피부에 부착하여 측정하였다. 본 연구에서는 상지의 움직임을 관찰하기 위하여 손목에 2차원 각도기, 팔꿈치에 1차원 각도기를 부착하여 각 관절의 움직임을 기록하고 누적적으로 평가하였다. 손목에서는 굴곡/신전 및 요측/척측 편위를 측정하였고 팔꿈치에서는 굴곡/신전을 측정하였다. 측정 변수는 관절 움직임의 빈도를 측정, 기록하였다. 근전도와 마찬가지로 40분을 측정한 후 연속 30분의 실측치를 분석에 이용하였다.

## 6. 도구 평가결과와 근골격계 질환 증상 호소율과의 관계

HAL TLV와 SI 두 도구 각각의 평가결과와 손목의 자각증상 호소율 간의 비교를 위해 Independent Samples t-test를 실시하였다. 근골격계질환 유소견에 대한 판정 기준은 NIOSH의 작업관련 근골격계질환 감시기준에 따라, 적어도 통증이 1주일 이상 지속 또는 과거 1년 간 한 달에 한번 이상 반복되는 손목 부위에서 하나 이상의 증상들이 있는 작업자 중 통증의 강도가 보통이상인 경우로 하였다.

$$\text{비교활동도 (Relative Activity)} = \frac{\text{작업중근전도} - \text{휴식시근전도}}{\text{최대근전도} - \text{휴식시근전도}} \dots\dots\dots 1)$$

Table 3. Rating criteria of the Strain Index

| Rating | Intensity of exertion | Duration of exertion (% of cycle) | Effort/minute | Hand/wrist posture | Speed of work | Duration per day (hrs) |
|--------|-----------------------|-----------------------------------|---------------|--------------------|---------------|------------------------|
| 1      | light                 | < 10                              | < 4           | very good          | very good     | < 1                    |
| 2      | somewhat hard         | 10-29                             | 4-8           | good               | slow          | 1-2                    |
| 3      | hard                  | 30-49                             | 9-14          | fair               | fair          | 2-4                    |
| 4      | very hard             | 50-79                             | 15-19         | bad                | fair          | 4-8                    |
| 5      | near maximal          | ≥ 80                              | ≥ 20          | very bad           | very fast     | > 8                    |

## 7. 통계적 분석방법

본 연구자료의 기술통계, t-test, 상관분석 및 로지스틱 회귀 분석은 SPSS for Windows, Release 12.0 (SPSS Inc.)를 이용하였으며, 도표의 작성은 Sigma Plot 8.0.2를 이용하였다.

## III. 연구결과

### 1. 연구대상군의 일반적 특성

본 연구대상군의 일반적 특성은 Table 4와 같다. 총 37명 모두 남자였으며, 나이 분포는 35 대 후반이 17명으로 가장 많았으며 다음으로 30대 초반과 40대 초반, 40대 후반 순이었다. 근무기간은 평균 194.5개월이었으며, 기혼자(94.6%)가 미혼자(5.4%)보다 더 많았다. 학력수준은 고졸이 34명(91.9%)으로 가장 많았으며 다음으로 대졸, 중졸 순이었다.

### 2. 연구대상군의 일반적 특성과 근골격계질환 증상 호소율의 관계

본 연구대상군의 일반적 특성과 근골격계질환 증상호소율의 관계는 Table 5와 같다.

결혼 여부, 학력수준, 연령, 근무기간의 모든 변수에서 통계적 유의성은 없었다. 근골격계질환 발생과 연령의 증가는 관계가 있는 것으로 알려져 있으나 본 연구에서는 연구대상의 연령이 30대에서 40대 근로자로만 분포되어 있었기 때문인 것으로 생각된다.

### 3. HAL TLV와 SI작업평가 결과

HAL은 평균 4.7으로 rating 4(느린 지속 동작이며 빈번하고 짧은 단절)와 rating 6(지속적인 동작이며 드문 단절)의 중간 정도였다. NPF는 평균 4.6으로 Borg Scale로 볼 때 보통 정도(Moderate)와 강함(Strong)의 중간 정도에 해당한다.

Ratio는 평균 0.93으로 TLV인 Ratio=0.78을 초과하였으며 37명 중 34명이 AL(Ratio=0.56)를 초과하였으며 그 중 25명이 TLV(Ratio=0.78)를 초과하였다. SI 평가 결과는 평균 24.7이며 37명 중 34명이 기준 5를 초과하였다.

Table 4. General characteristics of the subjects

|                        | AL(Action Limit)                           | TLV(Threshold Limit Values)               |
|------------------------|--|---|
| Number of total sample |  | 37  |
| Gender                 | male<br>female                             | 37(100) <sup>A</sup><br>0(0.0)            |
| Marital status         | married<br>single                          | 35(94.6)<br>2(5.4)                        |
| Education              | middle school<br>high school<br>university | 1(2.7)<br>34(91.9)<br>2(5.4)              |
| Age(year)              | 30-34<br>35-39<br>40-44<br>45-49           | 8(21.6)<br>17(45.9)<br>8(21.6)<br>4(10.8) |
| Work duration          | (months)                                   | 194.5 ± 28.8 <sup>B</sup>                 |

<sup>A</sup>Number of subjects(percentage, %); <sup>B</sup>Mean ± standard deviation

Table 5. Relationship between the prevalence of MSDs symptoms and the characteristics of the subjects

| Variables             | Odds ratio | 95% C. I.    |
|-----------------------|------------|--------------|
| Marital status        | 2.182      | 0.125–38.182 |
| Achievement           | 1.677      | 0.132–21.331 |
| Age(year)             | 1.154      | 0.956–1.392  |
| Work duration(months) | 1.021      | 0.995–1.047  |

#### 4. HAL TLV와 SI의 상관분석 및 회귀분석

Fig. 2는 HAL TLV 결과와 SI 결과 간의 관계로 HAL TLV 결과가 높을수록 SI 결과도 증가하는 경향을 보여주고 있다. Pearson 상관계수는  $r=0.66$  ( $p<0.001$ )으로 비교적 높은 상관관계를 보였으며, 회귀방정식은  $y = 50.7x - 22.5$  이었다.

#### 5. HAL과 상지 관절의 반복빈도간 상관관계

##### 1) 관절의 반복빈도

Table 6은 1차원 및 2차원 전자각도기로 측정한 상지 관절의 분당 반복 회수를 나타내고 있다. 우측 손목 굴곡의 반복빈도가 분당 평균  $22.9 \pm 6.4$ 회로 가장 높았고, 다음은 우측 팔꿈치 굴곡이  $19.2 \pm 5.6$ 회, 손목 편위  $14.7 \pm 5.7$ 회 순이었다. 그리고 세 관절빈도의 합은  $56.9 \pm 16$ 회 이었다.

##### 2) HAL과 상지 관절의 반복빈도간 상관관계

Table 7은 반복 수작업을 작업관찰에 의한 주관적 평가결과인 HAL 결과와 기계장비를 이용한 객관적 결과인 전자 각도기(Electrogoniometer Biometrics UK) 측정결과 간의 상관관계를 나타내고 있다.

우측 손목의 반복 편위 횟수, 굴곡 횟수, 팔꿈치 굴곡 횟수

모두 HAL 결과와 상관관계에 있었으며 팔꿈치 굴곡 횟수가 상관계수 0.548으로써 가장 높은 상관관계를 나타내었다.

#### 6. 근전도와 Borg Scale에 의한 NPF간 상관관계

##### 1) 근전도도 결과(%MVC)

Table 8은 척측수근신근(ECU)과 천지굴근(FDS)의 근전도 측정결과이다. 척측수근신근의 %MVC는 평균  $2.6 \pm 1.6\%$ 이었으며, 천지굴근은  $3.4 \pm 1.5\%$ 이었다. 그리고 두 근육의 %MVC 합은 평균  $6.0 \pm 2.6\%$ 이었다.

##### 2) 근전도와 Borg Scale에 의한 NPF간 상관관계

본 연구에서는 라인작업의 특성을 고려하여 손가락으로 물체를 잡는데 사용되는 천지굴근과 손목을 뒤로 젖히는데 사용되는 척측수근신 표면에 근전도를 부착하여 측정하였다.

Table 9는 HAL TLV의 NPF 평가결과와 근전도 측정결과와의 상관분석 결과를 나타내고 있다. NPF 평가결과가 척측수근신근의 %MVC는 유의한 상관관계에 있었으며 상관계수는  $r=0.40$  ( $p<0.05$ )이었다.

천지굴근과 NPF 결과 간에는 통계적으로 의미가 없었다 ( $p>0.05$ ). 이는 본 연구대상 업체의 작업특성이 중량물 취급

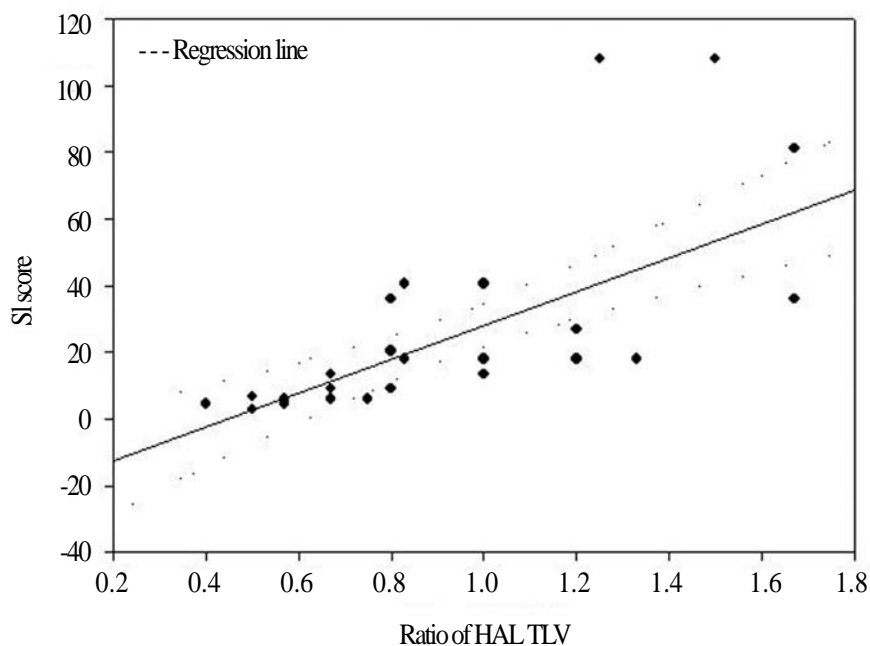


Fig. 2. Plot of the HAL TLV score and the SI score. The regression line shown is given by  $y = 50.7x - 22.5$  ( $N=37$ ,  $r^2=0.44$ ,  $p<0.001$ ).

보다는 경량의 많은 부품을 조립하는 작업특성에 기인하는 것으로 판단된다. 그리고 두 근육 %MVC 결과 합과 NPF 평가결과 간에는 상관관계수  $r=0.42$  ( $p<0.05$ ) 로써 유의한 상관관계에 있었다.

## 7. 도구 평가결과와 근골격계 질환 증상 호소율과의 관계

자각증상 호소율 조사결과 조사대상 37명 중 25명이 유소견자였으며 12명이 정상이었다.

Table 10과 Fig. 3, Fig. 4는 각각 HAL TLV와 SI 두 도구의 결과 평균과 자각증상 호소율에 따른 유소견 집단과 정상집단의 비교를 위해 독립표본 t-test를 실시한 결과를 나타내고 있다. HAL TLV의 경우 유소견자 집단의 평균이 TLV (Ratio=0.78)를 초과한 1.03으로 정상(무소견)의 평균 0.72 보다 통계적으로 유의하게 높았다( $p<0.05$ ). 그러나 SI는 정상과 유소견 집단 간에 유의한 관계에 있지 않았다.

Table 6. Repetitive frequencies of by joints measured by electrogoniometer

| Task no. | Joint             |               |               |                  | Task no. | Joint           |               |               |          |
|----------|-------------------|---------------|---------------|------------------|----------|-----------------|---------------|---------------|----------|
|          | Wrist deviation   | Wrist flexion | Elbow flexion | Sum <sup>A</sup> |          | Wrist deviation | Wrist flexion | Elbow flexion | Sum      |
| 1        | 10.3 <sup>B</sup> | 19.8          | 13.7          | 43.8             | 20       | 15.8            | 24.9          | 19.8          | 60.5     |
| 2        | 8.9               | 15.5          | 10.4          | 34.8             | 21       | 14.6            | 42.4          | 23.8          | 80.8     |
| 3        | 15.5              | 26.7          | 11.7          | 53.9             | 22       | 7.0             | 14.2          | 15.4          | 36.6     |
| 4        | 10.6              | 18.0          | 10.7          | 39.3             | 23       | 10.2            | 20.4          | 24.6          | 55.2     |
| 5        | 19.2              | 25.5          | 20.6          | 65.3             | 24       | 14.7            | 22.2          | 21.5          | 58.4     |
| 6        | 12.4              | 23.0          | 12.0          | 47.4             | 25       | 13.4            | 23.6          | 19.7          | 56.7     |
| 7        | 9.9               | 17.5          | 17.9          | 45.3             | 26       | 12.2            | 20.7          | 20.8          | 53.7     |
| 8        | 10.5              | 16.8          | 17.7          | 45.0             | 27       | 10.3            | 24.1          | 18.1          | 52.5     |
| 9        | 15.1              | 20.1          | 17.1          | 52.3             | 28       | 12.6            | 25.0          | 24.8          | 62.4     |
| 10       | 13.8              | 19.8          | 18.1          | 51.7             | 29       | 11.0            | 20.9          | 13.2          | 45.1     |
| 11       | 13.8              | 18.9          | 15.9          | 48.6             | 30       | 11.2            | 18.3          | 17.5          | 47.0     |
| 12       | 12.6              | 20.6          | 18.8          | 52.0             | 31       | 8.4             | 13.5          | 15.3          | 37.2     |
| 13       | 11.7              | 17.4          | 18.5          | 47.6             | 32       | 17.6            | 23.9          | 22.3          | 63.8     |
| 14       | 12.9              | 22.0          | 16.4          | 51.3             | 33       | 26.8            | 30.3          | 30.3          | 87.4     |
| 15       | 17.2              | 23.7          | 24.0          | 64.9             | 34       | 33.5            | 34.3          | 34.8          | 102.6    |
| 16       | 29.0              | 39.4          | 31.2          | 99.6             | 35       | 23.4            | 29.7          | 27.1          | 80.2     |
| 17       | 18.7              | 29.8          | 20.1          | 68.6             | 36       | 16.0            | 25.8          | 18.0          | 59.8     |
| 18       | 13.7              | 21.3          | 18.5          | 53.5             | 37       | 10.2            | 15.2          | 13.3          | 38.7     |
| 19       | 19.4              | 23.4          | 17.9          | 60.7             |          |                 |               |               |          |
| M ±SD    |                   |               |               |                  |          | 14.7 ±5.7       | 22.9 ±6.4     | 19.2 ±5.6     | 56.9 ±16 |

<sup>A</sup>Wrist deviation+wrist flexion+elbow flexion, <sup>B</sup>Number/minute

Table 7. Correlation between the HAL and the repetition of the upper limbs by electrogoniometer

|                 | Wrist deviation | Wrist flexion | Elbow flexion | Sum <sup>A</sup> |
|-----------------|-----------------|---------------|---------------|------------------|
| HAL             | 0.503**         | 0.450**       | 0.548**       | 0.547**          |
| Wrist deviation |                 | 0.760**       | 0.786**       | 0.929**          |
| Wrist flexion   |                 |               | 0.690**       | 0.905**          |
| Elbow flexion   |                 |               |               | 0.899**          |

Pearson rho, \*\*  $p<0.01$  ; A Wrist deviation+wrist flexion+elbow flexion

Table 8. Results of %MVC of ECU and FDS

| Task          |                  |        |                  | Task |           |           |           |
|---------------|------------------|--------|------------------|------|-----------|-----------|-----------|
|               |                  | Muscle |                  |      |           | Muscle    |           |
| no.           | ECU              | FDS    | Sum <sup>A</sup> | no.  | ECU       | FDS       | Sum       |
| 1             | 4.3 <sup>B</sup> | 0.8    | 4.8              | 20   | 1.2       | 2.9       | 3.9       |
| 2             | 1.5              | 1.1    | 3.1              | 21   | 2.6       | 3.3       | 6.3       |
| 3             | 3.0              | 2.5    | 5.5              | 22   | 2.4       | 2.4       | 4.4       |
| 4             | 1.7              | 1.5    | 3.5              | 23   | 1.2       | 2.2       | 3.2       |
| 5             | 2.9              | 4.8    | 7.8              | 24   | 2.2       | 1.8       | 3.8       |
| 6             | 0.8              | 1.9    | 2.9              | 25   | 1.5       | 2.9       | 4.9       |
| 7             | 2.4              | 3.9    | 5.9              | 26   | 2.6       | 2.5       | 5.5       |
| 8             | 1.7              | 2.1    | 4.1              | 27   | 3.0       | 4.3       | 7.3       |
| 9             | 2.7              | 3.9    | 6.9              | 28   | 1.5       | 6.3       | 8.3       |
| 10            | 3.4              | 7.0    | 10.0             | 29   | 1.7       | 2.1       | 4.1       |
| 11            | 2.2              | 3.6    | 5.6              | 30   | 2.4       | 2.9       | 4.9       |
| 12            | 1.4              | 5.9    | 6.9              | 31   | 1.4       | 1.3       | 2.3       |
| 13            | 2.2              | 3.3    | 5.3              | 32   | 2.5       | 4.9       | 7.9       |
| 14            | 1.9              | 3.3    | 5.3              | 33   | 2.9       | 4.9       | 7.9       |
| 15            | 1.8              | 5.3    | 7.3              | 34   | 3.1       | 3.6       | 6.6       |
| 16            | 2.5              | 3.3    | 6.3              | 35   | 1.5       | 3.7       | 5.7       |
| 17            | 2.0              | 2.4    | 4.4              | 36   | 6.2       | 5.0       | 11.0      |
| 18            | 1.6              | 4.9    | 6.9              | 37   | 10.2      | 6.1       | 16.1      |
| 19            | 4.1              | 2.6    | 6.6              |      |           |           |           |
| <b>M ± SD</b> |                  |        |                  |      | 2.6 ± 1.6 | 3.4 ± 1.5 | 6.0 ± 2.6 |

<sup>A</sup>%MVC of ECU + %MVC of FDS, <sup>B</sup>%MVC

Table 9. Correlations between the NPF and %MVC

|             | %MVC of ECU | %MVC of FDS | Sum <sup>A</sup> |
|-------------|-------------|-------------|------------------|
| NPF         | 0.40*       | 0.31        | 0.42*            |
| %MVC of ECU |             | 0.34*       | 0.82**           |
| %MVC of FDS |             |             | 0.81**           |

<sup>A</sup>%MVC of ECU + %MVC of FDS

Pearson rho, \* p&lt;0.05, \*\* p&lt;0.01

Table 10. HAL TLV scores and SI scores between workers with MSD symptoms and normal workers

|                                 |         | HAL TLV | SI   |
|---------------------------------|---------|---------|------|
| Workers with MSD symptoms(N=25) | Average | 1.03*   | 27.6 |
|                                 | SD      | 0.34    | 23.3 |
|                                 | Average | 0.72*   | 18.7 |
| Nomal workers(N=12)             | SD      | 0.19    | 29.6 |

\*: p&lt;0.05



( $p < 0.05$ ). 이는 SI는 조사 대상 37명 중 34명이 기준인 SI score 5를 초과하여 HAL TLV에 비해 결과가 과대평가 되며, 평가 결과 간에 편차가 크고 위험군을 분류함에 있어 정확도가 떨어지기 때문으로 생각된다.

#### IV. 고찰

HAL TLV는 손의 반복 활동도를 나타내는 HAL과 힘 사용의 정도를 나타내는 NPF, 두개의 변수로 수작업을 평가하며 이 두변수의 값을 통해 정량적인 결과인 Ratio가 산출되어 작업의 위험성 정도와 노출기준 초과여부를 알 수 있다. 노출기준인 TLV (Ratio=0.78)는 반복적인 수작업에 매일 노출되었을 때 거의 모든 근로자가 전완, 손목 그리고 손에 질환이 발생하지 않는다고 할 수 있는 기준을 의미한다.

Borg Scale (작업자의 주관적 자각증상)을 이용하여 평가한 NPF 결과가 증가함에 따라 천지굴근 근전도 값 또한 증가하였다( $p < 0.05$ ). 또한 주관적 관찰법으로 평가한 HAL 결과는 전자각도기에 의한 객관적 결과와 상관관계에 있었다( $r=0.45 \sim 0.55$ ,  $p < 0.01$ ) 이는 객관적 평가(전자각도기, 근전도)와 주관적 평가(Borg Scale) 중 어느 방법을 사용하여 작업 평가를 실시해도 무방하다는 것을 증명한다. 본 연구결과는 HAL TLV에서는 권고하고 있으며 또한 반복적인 수작업 부하 평가에서 주관적 평가 방법도 작업자의 스트레스를 측정하는데 유용하다(Freivalds & Eklund, 1993; 권오채 & 윤명환, 1999)는 기존의 연구결과와 일치한다.

SI에서는 Score 5를 안전작업 기준으로 제시한다. SI score 5는 안전작업의 Threshold SI score로서 SI Score 5 이상의 작업

에선 손과 손목에서 근골격계질환이 발생할 가능성이 높아진다. 그러므로 TLV와 거의 동일한 의미로 해석된다.

HAL TLV와 SI의 상관분석 결과 높은 상관관계를 나타내었다. 이는 SI score를 결정하는 6개의 변수 중 손목의 자세(hand wrist posture), 작업속도 및 작업시간 변수를 제외한 나머지 3개의 변수 중 Intensity of exertion는 HAL TLV의 NPF에 해당되고, Duration of Exertion와 Effort/Minute는 HAL TLV의 HAL에 해당되기 때문이다.

그러나 HAL TLV 결과에 비해 SI score가 높게 산출되는 이유는 HAL TLV의 NPF는 점수부여(Rating) 범위(Scale)가 12단계이지만 SI의 Intensity of exertion는 점수부여(Rating) 범위(scale)가 5단계로 NPF에 비해 점수부여(Rating)시 정확도가 떨어지며 가장 큰 요인은 SI의 6개 변수는 각각 SI Score에 미치는 가중치가 다른데 그 중 힘쓰기 강도(Intensity of exertion)가 다른 변수들에 비해 SI Score에 미치는 영향이 평균 3.64배 높은 영향을 미치기 때문이다. 반면에 NPF는 HAL에 비해 1.28배의 가중치만 있기 때문에 SI 결과는 HAL TLV 결과 보다 높게 나타났다.

SI의 작업시간(duration per day) 변수는 4 - 8 시간 일 경우 score 1, 8 시간 이상일 경우는 score 1.5를 부여하나 HAL TLV에서는 4 시간 이상의 작업에서만 사용하기를 권고하고 있다.

SI의 사이클당 % (duration of exertion), 분당회수(efforts per minute)등의 6개 변수는 HAL, NPF에 비해 작업분석이 까다롭고 시간이 오래 걸린다. 따라서 SI는 비디오 촬영에 의한 정밀 분석도구에 해당된다. 그러므로 실제 작업현장에서 많은 작업을 평가함에 있어서는 한계가 있다. HAL TLV는 SI와 동일한 사후 정밀분석법과 그 대안으로 현장에서 관찰법에

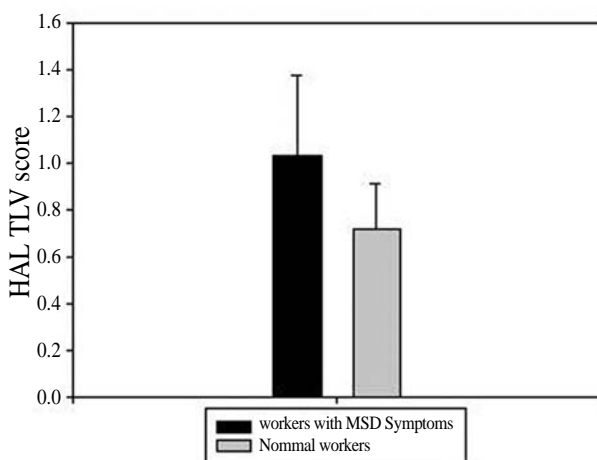


Fig. 3. Comparing HAL TLV scores between workers with MSD symptoms and normal workers.

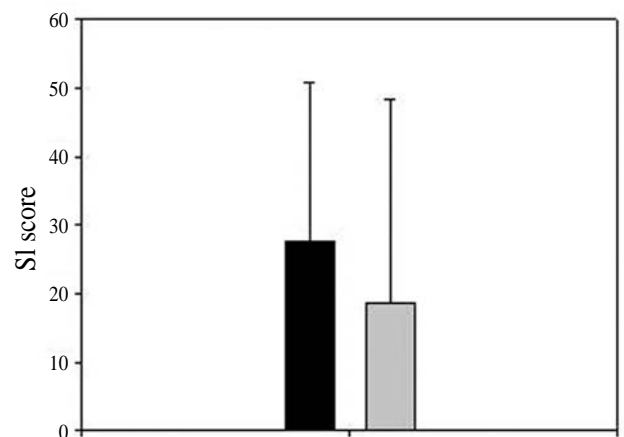


Fig. 4. Comparing SI scores between workers with MSD symptoms and normal workers.

의한 빠른 평가 방법을 제시하고 있다.

두 도구에 의한 평가결과와 근골격계질환 증상호소율과의 관계에서 HAL TLV는 정상 작업자 집단에 비해 근골격계질환 유소견자 집단의 평가결과가 유의하게 높았으나, SI를 이용한 작업분석 결과는 유소견자 집단과 정상 집단에서 차이를 나타내지 않았다( $p>0.05$ ). 이러한 연구결과로 보아 SI에 의한 위험군 분류는 다소 과대평가 된다고 생각된다.

또한 HAL TLV는 Ovako Working Analysis System (OWAS) (Karhu, 1977) 나 Rapid Upper Limb Assessment (RULA) (McAtamney, 1993)의 조치수준과 같은 비모수적 위험군을 나타내지 않고 정량적인 결과가 산출되며 현장에서 작업 평가시 위험군 선별이 용이한 장점이 있어 반복적인 수작업 평가에 적절한 도구라고 생각된다.

## V. 결론

반복 수작업 종사자의 상지 위험성을 분석하기 위한 도구인 HAL TLV를 이용하여 현장 수작업에 대해 평가하고 그 결과를 SI에 의한 평가결과와 비교하였으며 객관적 결과인 전자각도기 및 근전도 측정결과와 비교하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 연구대상군의 일반적 특성과 근골격계질환 자각증상 호소율은 통계적으로 유의하지 않았다.
2. 조사자 관찰법에 의한 HAL 결과와 전자각도기를 이용한 상지 관절 3곳의 반복빈도는 의미 있는 상관관계( $r=0.45 \sim 0.55, p<0.01$ )를 보였다.
3. 작업자 자각증상에 의한 NPF 결과와 척추근신근의 근전도 결과는 의미 있는 상관관계( $r=0.40, p<0.05$ )를 보였다.
4. HAL TLV에 의한 평가 결과는 SI에 의한 결과와 높은 상관성  $r=0.66 (p<0.01)$ 을 보였다.
5. 전체 작업 중 HAL TLV 기준을 초과하는 작업은 67%, SI 기준을 초과하는 작업은 92%로 HAL TLV는 SI보다 위험을 낮게 평가하는 것으로 나타났다.
6. 두 도구의 평가결과와 근골격계질환 증상호소율과의 관계에서 HAL TLV는 정상 작업자 집단에 비해 근골격계질환

유소견자 집단의 평가결과가 유의하게 높았으나, SI는 유의한 관계에 있지 않았다.

이상의 결과로 보아 HAL TLV는 SI보다 간편하게 평가가 가능하면서도 근전도기 및 전자각도기에 의한 결과와도 유의한 상관성을 나타내었다. 그러므로 반복적인 수작업 평가에 적절한 도구라고 판단된다.

## REFERENCES

- 권오채, 윤명환. 반복적인 손목 및 손가락 작업에서의 수작업 부하 평가. 대한인간공학회지 1999;18(2):103-120
- 노동부. 2004년도 산업재해 현황. 노동부, 2005.
- 안연순, 최용휴, 강성규, 정호근. 작업관련성 근골격계질환으로 요양승인된 사례 분석. 대한산업의학회지 2002;14(2):154-168
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 2005a.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH): Documentation of the TLVs and BEIs. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 2005b.
- Freivalds, A and Eklund J. Reaction torques and operator stress while using powered nutrunners. Applied Ergonomics 1993;24(3):158-164
- Karhu O, Kansil P, and Kuorinka I. Correcting working postures in industry - A practical method for analysis. Applied Ergonomics 1977;8:199-201
- Morre JS and Garg A. The Strain Index: A Proposed Method to Analyze Jobs for Risk of Distal Upper Extremity Disorders. Am Ind Hyg Assoc J 1995;56:443-458
- McAtamney L, Corlett E. RULA : a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. Applied Ergonomics 1993;24(2):91-99
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Health Hazard Evaluation-Eagle Convex Glass Co., HETA 89-137-2005. Cincinnati, OH, NIOSH; 1989.